

Determinación de la tenacidad del concreto hidráulico
utilizando macrofibra de polipropileno en diferentes
dosificaciones

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Determinación de la tenacidad del concreto hidráulico utilizando
macrofibra de polipropileno en diferentes dosificaciones

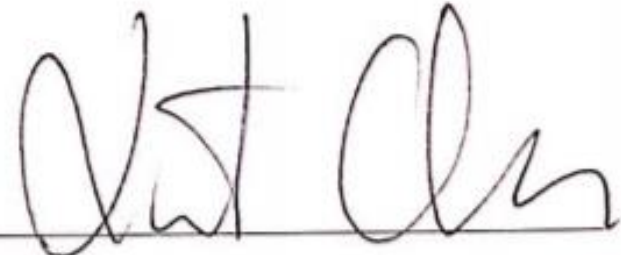
Trabajo de graduación presentado por Ana Susana Cifuentes
Mas para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería
Civil

Guatemala
2018


Vo. Bo. :

(f) 
Ing. Plinio Estuardo Herrera

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Roberto Godo Levensen

(f) 
Ing. Alvaro Jose Cordova Gâirola

(f) 
Ing. Plinio Estuardo Herrera

Fecha de aprobación: Guatemala, 3 de diciembre de 2018

PREFACIO

La elaboración de esta tesis surgió del interés sobre cómo mejorar las propiedades mecánicas del concreto. La introducción de fibras dentro de la mezcla del concreto es uno de los métodos utilizados para mejorar considerablemente dichas propiedades, teniendo un sinnúmero de aplicaciones. Se han utilizado con frecuencia en distintos países del mundo. Sin embargo, Guatemala no cuenta con estudios formales de tenacidad utilizando la norma ASTM C1609.

La elaboración de este trabajo de investigación no hubiera sido posible sin contar con el apoyo de varias instituciones y personas. Por lo tanto, quiero agradecer, en primer lugar, a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle de Guatemala por brindarme una educación profesional. Asimismo, quiero agradecer al Centro de Investigación y Desarrollo (CI+D) de Cementos Progreso, por abrirme las puertas y apoyarme en cada etapa de mi tesis, gracias por proporcionarme el equipo y los materiales para la elaboración de esta investigación. En segundo lugar, quiero agradecer a los Ingenieros Plinio Estuardo Herrera y Ariel Osorio por su apoyo, orientación y asesoría durante todo el proceso de investigación. Asimismo, quiero agradecer a los ingenieros Wilson Aifan y Gerardo Nochez por su apoyo en la elaboración de los ensayos de laboratorio.

En el plano personal, quiero agradecer en primer lugar a Dios por haberme dado la vida y por ser mi fortaleza en momentos de debilidad. Además, quiero agradecer a todas aquellas personas que me han acompañado a lo largo de este proceso. Agradezco a mis padres, Erick y Ana María por su apoyo incondicional, por los valores que me han inculcado a lo largo de mi vida y por permitirme tener una excelente educación. Agradezco a mis amigos por confiar y creer en mí, por estar a mi lado en todo este proceso y por haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto inolvidable. Finalmente, quiero agradecer a mi abuelo Juanito y a mis yayos por motivarme e impulsarme a ser una ingeniera de éxito, gracias por haber creído siempre en mí.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE CUADROS.....	X
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIV
RESUMEN.....	XVII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
2.1 General.....	2
2.2 Específicos.....	2
III. JUSTIFICACIÓN.....	3
IV. PARTICULARIDADES DEL CONCRETO.....	5
4.1 Definición del concreto.....	5
4.2 Componentes del concreto.....	5
4.2.1 Agregados.....	5
4.2.1.1 Agregado grueso.....	7
4.2.1.2 Agregado fino.....	8
4.2.2 Agua.....	9
4.2.3 Aditivos.....	12
4.3 Concreto fresco y endurecido.....	15
4.4 Concreto reforzado.....	18
4.5 Propiedades mecánicas del concreto.....	20
4.5.1 Resistencia a la compresión.....	20
4.5.2 Resistencia a la tensión en flexión.....	23
4.5.3 Módulo de elasticidad y relación de Poisson.....	24
4.5.4 Ductilidad.....	26
4.5.5 Tenacidad.....	27
4.6 Curado del concreto.....	28
4.7 Agrietamiento del concreto.....	30
V. FIBRAS.....	32
5.1 Evolución histórica del concreto reforzado con fibras.....	32
5.1.1 Antecedentes.....	32
5.1.2 Uso de fibras en la actualidad.....	33

5.2	Clasificación de las fibras	34
5.2.1	Por material	34
5.2.2	Por funcionalidad, geometría y dosificación.....	35
5.3	Principales aplicaciones	35
5.3.1	Pisos y pavimentos	36
5.3.2	Prefabricados.....	36
5.3.3	Concreto lanzado.....	37
5.3.4	Concretos resistentes a explosiones	37
5.3.5	Concretos de alta resistencia	38
5.4	Dosificaciones	38
5.5	Influencia de las fibras en el concreto	39
VI.	GENERALIDADES DE LOS POLÍMEROS.....	40
6.1	¿Qué es un polímero?	40
6.2	Clasificación de los polímeros	40
6.2.1	Clasificación según su comportamiento mecánico.....	40
VII.	FIBRA DE POLIPROPILENO.....	43
7.1	Propiedades de la fibra de polipropileno	43
7.2	Características mecánicas	43
7.3	Ventajas de las fibras de polipropileno	43
7.4	Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto	44
VIII.	NORMAS Y ENSAYOS APLICADOS	45
8.1	Normas y ensayos aplicados a la mezcla y a los ensayos	45
8.1.1	Norma COGUANOR NTG 41009 (ASTM D75) Práctica normativa para el muestreo de agregados	45
8.1.1.1	Obtención de las muestras	45
8.1.1.2	Procedimiento	45
8.1.2	Norma COGUANOR NTG- 41007 (ASTM C33/C33M). Especificación estándar de agregados para el concreto.	46
8.1.2.1	Objeto	46
8.1.2.2	Métodos de muestreo y ensayos	46
8.1.3	COGUANOR NTG 41095 (ASTM C1157). Especificaciones por desempeño de cementos hidráulicos.....	47
8.1.3.1	Objeto	47
8.1.3.2	Clasificación y uso	47
8.1.3.3	Propiedades físicas.....	48

8.1.4 ACI 211.1. Práctica estándar para seleccionar proporciones para concreto de peso normal, pesado y masivo.	49
8.1.4.1 Objeto	49
8.1.4.2 Procedimiento	49
8.1.4.2.1 Elección del asentamiento	49
8.1.4.2.2 Elección del tamaño máximo del agregado	51
8.1.4.2.3 Selección de la relación agua-cemento	51
8.1.4.2.4 Estimación del contenido de agregado fino	52
8.1.4.2.5 Ajustes por humedad del agregado	53
8.1.5 COGUANOR NTG 41060 (ASTM C192). Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio.	53
8.1.5.1 Objeto	53
8.1.5.2 Equipo	53
8.1.5.3 Procedimiento	55
8.1.6 COGUANOR NTG 41017-h2 (ASTM C78). Método de ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto	57
8.1.6.1 Objeto	57
8.1.6.2 Equipo	57
8.1.6.3 Especímenes de ensayo	58
8.1.6.4 Procedimiento	59
8.1.6.5 Cálculos	60
8.1.7 ASTM C1609. Método de prueba estándar para el rendimiento a flexión del concreto reforzado con fibra.	61
8.1.7.1 Uso	61
8.1.7.2 Equipo	61
8.1.7.3 Procedimiento	62
8.1.7.4 Cálculos	62
IX. OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE DATOS	65
9.1 Equipo y materiales	65
9.1.1 Equipo	65
9.1.1.1 Máquina universal	65
9.1.1.2 Equipo de tenacidad	65
9.1.1.3 Equipo de flexión	66
9.1.2 Materiales	66
9.1.2.1 Cemento	66

9.1.2.2 Agregados	67
9.1.2.3 Aditivos.....	68
9.1.2.4. Fibras.....	69
9.2 Dosificaciones y diseño de la mezcla	69
9.3 Ensayos elaborados al concreto fresco	70
9.4 Elaboración de especímenes y curado.....	72
X. RECOPIACIÓN, INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	
OBTENIDOS.....	78
10.1 Recopilación y descripción de resultados	78
10.1.1 Resultados de los ensayos al concreto fresco	78
10.1.1.1 Asentamiento o Revenimiento	78
10.1.1.2 Temperatura.....	80
10.1.1.3 Porcentaje de aire	80
10.1.2 Resultado de los ensayos al concreto endurecido	82
10.1.2.1 Resultados de tenacidad	82
10.1.2.2 Resultados de Módulo de Rotura	89
10.1.2.3 Resultados de Compresión	92
XI. CONCLUSIONES.....	96
XII. RECOMENDACIONES	98
XIII. BIBLIOGRAFÍA	99
XIV. ANEXOS.....	102
14.1 Anexo de materiales	102
14.1.1Ficha técnica fibra Euclid.....	102
14.1.2 Ficha técnica glenium.....	104
14.1.3 Ficha técnica polyheed.....	106
14.2 Anexo de gráficos y ensayos	108
14.2.1 Resultados de la resistencia a la compresión	108
14.2.2 Resultados de la resistencia a flexión.....	112
14.2.3 Resultados de la tenacidad	117
14.2.4 Resultados de resistencia al impacto en baldosa	123
14.2.5 Resultados de la profundidad de penetración de agua bajo presión al concreto endurecido.	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Sección transversal del concreto endurecido.	6
Fig. 2. Consistencia de la mezcla elaborada	15
Fig. 3. Resistencia a la compresión.....	20
Fig. 4. Cilindros en un ambiente húmedo.....	21
Fig. 5. Tipos de falla en los cilindros	22
Fig. 6. Ensayo a flexión	24
Fig. 7. Falla frágil y dúctil.....	27
Fig. 8. Tenacidad del concreto	28
Fig. 9. Curado del concreto y su resistencia	29
Fig. 10. Curado de los especímenes	30
Fig. 11 Macrofibras de Polipropileno	34
Fig. 12. Obtención del asentamiento.....	50
Fig. 13 Introducción del agregado para mezclado	55
Fig. 14. Vista diagramática para ensayo a Flexión del concreto	58
Fig. 15. Aparato para ensayo a flexión.....	58
Fig. 16. Trazo de las vigas	59
Fig. 17. Transductores de desplazamiento.....	61
Fig. 18. Gráfico carga-deflexión.....	64
Fig. 19. Compresora Universal Controls	65
Fig. 20. Equipo de tenacidad.....	66
Fig. 21. Cemento CFB	67
Fig. 22. Agregados empleados	67
Fig. 23. Polyheed 789	68
Fig. 24. Master Glenium, 3020.....	69
Fig. 25. Temperatura del concreto en estado fresco	70
Fig. 26. Ensayo de asentamiento	71
Fig. 27. Enrasado.....	72
Fig. 28. Piedrín mezclado con fibra	73
Fig. 29. Consistencia de la mezcla con fibra	73
Fig. 30. Molde de la viga engrasado	75
Fig. 31. Vigas elaboradas.....	75
Fig. 32. Varillado de las vigas	75
Fig. 33. Vigas desencofradas.....	75
Fig. 34. Curado de las vigas	76
Fig. 35. Cilindros elaborados	77
Fig. 36. Comparación del asentamiento del concreto fresco.....	79
Fig. 37. Ensayo de tenacidad para viga con dosificación de seis kg/m ³	82
Fig. 38. Gráfico carga vs deflexión para mezcla control	83
Fig. 39 Gráfico carga vs deflexión para concreto con dosis de fibra de cuatro kg/m ³	83
Fig. 40. Gráfico carga vs deflexión para concreto con dosis de fibra de cinco kg/m ³	84
Fig. 41 Gráfico carga vs deflexión para concreto con dosis de fibra de seis kg/m ³	84
Fig. 42. Gráfico carga vs deflexión comparativo para todas las mezclas.....	84
Fig. 43. Carga residual para cada viga	87

Fig. 44. Resistencia Residual	87
Fig. 45 Módulo de rotura del concreto a 7 días	89
Fig. 46. Módulo de rotura a los 28 días.....	90
Fig. 47. Rotura de la viga con distintas dosificaciones de fibra	92
Fig. 48. Resistencia a la compresión a 7 días	93
Fig. 49. Resistencia a la compresión a 28 días	94
Fig. 50. Cilindro de la mezcla control ensayado a compresión	95
Fig. 51. Resistencia al impacto y tamaño de la grieta o fisura de la baldosa.....	124
Fig. 52. Elaboración del ensayo de resistencia al impacto.....	124
Fig. 53. Ensayo de penetración de agua	126

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tipos de aditivos y su función	14
Cuadro 2. Diámetro máximo de especímenes de ensayo.....	21
Cuadro 3. Requisitos de cada tipo de cemento.	49
Cuadro 4. Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción	50
Cuadro 5. Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire	51
Cuadro 6. Relación agua/Cemento y resistencia a compresión.....	52
Cuadro 7. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto	52
Cuadro 8. Número de capas requeridas para los especímenes	56
Cuadro 9. Diámetro de varilla y número de golpes por capa	56
Cuadro 10. Tasa de aumento en la deflexión neta.....	62
Cuadro 11. Dosificaciones empleadas	70
Cuadro 12. Corrección por humedad de los agregados	70
Cuadro 13. Asentamiento obtenido.....	78
Cuadro 14. Porcentaje de aire en las mezclas	80
Cuadro 15. Masa unitaria de cada mezcla	81
Cuadro 16. Rendimiento del concreto.....	81
Cuadro 17. Resultados de la prueba de tenacidad para concretos con fibra	85
Cuadro 18. Resultados del ensayo a flexión	89
Cuadro 19. Módulo de rotura a los 28 días.....	90
Cuadro 20. Resultados de compresión	93

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
SNFRC	Concreto reforzado con fibras de acero (Steel fiber Reinforced Concrete)
SFRC	Concreto reforzado con fibra sintéticas (Synthetic Fiber Reinforced Concrete)
GFRC	Concreto reforzado con fibras de vidrio (Glass Fiber Reinforced Concrete)
NFRC	Concreto reforzado con fibras naturales (Natural Fiber Reinforced Concrete)
cm	Centímetros
J	Joules
g	gramos
lb	Libras
min	Minutos
mm	Milímetros
kg	Kilogramos
m ³	Metro cúbico
MPa	Megapascales

Psi	Libra por pulgada cuadrada
lbf	Libra fuerza
ft ³	Pie cúbico
N	Newton
μ	Radio de Poisson
d	Espesor del espécimen al momento de fractura
I	Momento de inercia
E	Módulo de elasticidad del concreto
L	Longitud
P_1	Carga de primer pico
δ_1	Deflexión en el primer pico
P	Carga
F	Fuerza
b	Ancho promedio del espécimen
S	Velocidad de incremento del esfuerzo en la fibra extrema
r	Velocidad de carga
f'_c	Resistencia a la compresión del concreto
MCH	Moderado calor de hidratación
BCH	Alta resistencia a los sulfatos
MRS	Moderada resistencia a los sulfatos
DLR	Desarrollo lento de resistencia
ARI	Alta Resistencia Inicial

UGC	Cemento hidráulico para uso general en la construcción
w_c	Peso unitario del concreto endurecido
E_c	Módulo de elasticidad del concreto
W/CM	Relación Agua cemento
lt	Litro
kN	Kilo Newtons
%	Porcentaje

GLOSARIO

ACI	American Concrete Institute (Instituto Americano de Concreto.
AGRECA	Agregados de Centro América.
AGREGADO O ÁRIDO	Conjunto de materiales de composición mineral, naturales o Artificiales.
AMIANTO	Uno de los componentes del fibrocemento. Compuesto por fibras microscópicas.
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Ensayos y Materiales).
COGUANOR	Organismo Nacional de Normalización.
CONCRETO LANZADO	Concreto transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad sobre la superficie.
CURADO	Proceso de control y mantenimiento de un contenido de humedad satisfactorio y una temperatura favorable en el concreto, durante la hidratación de los materiales cementantes, para el desarrollo de las propiedades de la mezcla.
DUCTILIDAD	Propiedad que presentan algunos materiales, bajo la acción de una fuerza para deformarse sin romperse.
EXUDACIÓN	Desarrollo de una capa de agua en la superficie del concreto recién colocado.
FINOS	Partículas pasantes del tamiz No. 200 con tamaños entre 0.074mm y 0.002mm.
FISURA	Hendidura longitudinal poco profunda. Si se cierra con algún método simple no vuelve a aparecer.
FLUIDEZ	Medida de consistencia de la pasta de concreto fresco.
FRAGUADO	Proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del Concreto.

GRANULOMETRÍA	Distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, con análisis de tamices por la norma ASTM C136.
GRAVA	Material retenido en el tamiz No. 4 con un tamaño entre 7.6cm y 0.002mm.
GRIETA	Abertura alargada y con muy poca separación entre sus bordes. Cuando es espesor de una fisura es mayor a 1.5 mm, se convierte en grieta.
LVDT	Transductores de desplazamiento lineal.
MÓDULO DE ELASTICIDAD	Relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente, para esfuerzos de tracción o compresión.
MÓDULO DE RUPTURA	Tensión máxima que un espécimen puede soportar en una prueba de flexión.
MORTERO	Compuesto por mezclas plásticas obtenidas al mezclar cemento, arena y agua. Actúa como un conglomerante.
POLÍMERO	Sustancia química compuesta por monómeros.
POLIPROPILENO	Polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del propileno. Se puede utilizar como plástico o como fibra.
RESISTENCIA RESIDUAL	Resistencia que tiene el concreto después de la aparición de la primera fisura
REVENIMIENTO o ASENTAMIENTO	Diferencia de altura que hay entre la parte superior del molde y la parte superior de la mezcla fresca cuando ésta se ha asentado después de retirar el molde. Se expresa en cm y mide la fluidez del concreto.
SEGREGACIÓN	Separación de los componentes del concreto fresco, una vez amasado.

TENACIDAD

Capacidad de absorción de energía de los materiales antes de la rotura.

TRABAJABILIDAD

Facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco y el grado que resiste a la segregación.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal, el determinar la tenacidad del concreto hidráulico reforzado con macrofibras de polipropileno. Dichas fibras se emplearon en dosificaciones de 4, 5 y 6 kg/m³. Además, se determinó, mediante la incorporación de estas macrofibras de polipropileno, si el desempeño del concreto mejora al ser sometido a cargas de flexión y compresión, a medida que la dosificación de aquellas se incrementa.

Los resultados de este trabajo determinan si la adición de macrofibras de polipropileno al concreto hidráulico modifica el comportamiento de éste, haciéndolo más dúctil y tenaz. Los resultados determinaron que el módulo de ruptura del concreto se ve levemente afectado con la adición de macrofibras de polipropileno. Se realizaron diversos ensayos para caracterizar el concreto, tanto en estado fresco, como en estado endurecido, en especial los ensayos bajo las normas: COGUANOR NTG 41017 (ASTM C78) “Método de Ensayo para Determinar el Esfuerzo de Flexión del Concreto y ASTM C1609 “Método de Ensayo Estándar de Desempeño a Flexión del Concreto Reforzado con Fibra”.

Los resultados de los ensayos reflejan que las macrofibras de polipropileno modifican las propiedades del concreto en estado fresco, incorporando mayor cantidad de aire a la mezcla y reduciendo el asentamiento. En estado endurecido, las fibras brindan ductilidad y tenacidad al concreto, incrementando la capacidad de carga residual.

Es recomendable utilizar este tipo de fibras en el concreto, ya que, en la cantidad y calidad adecuadas, se podría llegar incluso a sustituir el refuerzo secundario, utilizándola en elementos estructurales que trabajan a flexión. Al trabajar con macrofibras de polipropileno en dosificaciones significativas, se recomienda utilizar el vibrado como método de consolidación del concreto fresco, debido a que ayuda a mover las partículas del concreto recién mezclado y a homogeneizar la distribución de las macrofibras dentro de la mezcla. Una mezcla con una dosificación alta de macrofibras es menos trabajable, pero al emplear vibración externa en forma adecuada, la colocación del concreto se facilita y la trabajabilidad de la mezcla mejora, posibilitando la

distribución de las fibras en forma más homogénea, brindando, por tanto, mejores resultados en tenacidad y flexión en estado endurecido.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente se han llevado a cabo innumerables proyectos a nivel mundial, cuyo éxito está ligado a la implementación de nuevas tecnologías en relación con materiales de construcción. Gracias a la innovación tecnológica, se han ido desarrollando nuevas formas de mejorar las propiedades de las mezclas de concreto y, una de ellas, es la utilización de fibras.

El uso de fibras, como refuerzo secundario en el concreto, ha tenido un auge importante en la industria de la construcción. No es una técnica nueva, ya existía antes de la aparición del cemento Portland. Se solía utilizar materiales como el hilo para evitar la fisuración. Agregar fibras al concreto busca mejorar las propiedades mecánicas del mismo, mejorando su capacidad de resistir esfuerzos de tensión y reduciendo el ancho de la fisuración. Disminuir la cantidad de fisuras del concreto es importante, puesto que ayuda a incrementar la durabilidad de este, aumenta la transmisión de las cargas y mejora la estética del concreto.

Se estudiaron las propiedades mecánicas del concreto modificado con macrofibras de polipropileno. Se realizaron ensayos a flexión a los 7 y 28 días de edad, de acuerdo con la norma ASTM C78 para determinar el módulo de rotura. Cuando se somete el concreto con fibras al ensayo de flexión, este no falla repentinamente, sino que falla de manera dúctil. Además, se determinó la tenacidad del concreto de acuerdo con la norma ASTM C1609. Agregarle fibras al concreto brinda tenacidad y mejora la capacidad de carga después de la primera fisura.

II. OBJETIVOS

2.1 General

Determinación de la tenacidad del concreto hidráulico utilizando macrofibras de polipropileno en diferentes dosificaciones.

2.2 Específicos

2.2.1 Verificar si, al utilizar macrofibras de polipropileno, aumenta el módulo de ruptura del concreto.

2.2.2 Estudiar el comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras mediante la determinación de la tenacidad del concreto.

2.2.3 Establecer las diversas aplicaciones del concreto reforzado con macrofibras de polipropileno.

2.2.4 Comparar el comportamiento del concreto hidráulico reforzado con y sin macrofibras de polipropileno.

III. JUSTIFICACIÓN

El concreto es un material de construcción que se ha venido utilizando a través de los años gracias a sus diversas ventajas y aplicaciones. Se ha utilizado en prácticamente todos los países del mundo, para mejorar la infraestructura, la cual es básica para su desarrollo económico. El concreto se utiliza para construir viviendas y edificios de todo tipo. Sin embargo, el concreto, no es un material perfecto y dentro de sus desventajas, este tiende a presentar una falla frágil y repentina cuando ha llegado al límite de su capacidad. Proveer de nuevos concretos, como los concretos reforzados con fibras, puede brindar mejoras en cuanto a la fragilidad del mismo y puede contribuir al diseño de elementos estructurales en los que el comportamiento del concreto sea mejor ante las cargas.

El concreto posee una excelente capacidad para soportar esfuerzos de compresión, sin embargo, no es muy bueno cuando se somete a fuerzas por tensión o flexión, por lo tanto, se refuerza generalmente con varillas de acero para que soporten los esfuerzos y le proporcionen al concreto la capacidad de deformarse sin fallar súbitamente. Con el objetivo de mejorar esa característica del concreto y la ductilidad de este, se utilizan las fibras. Dichas fibras aumentan la tenacidad del concreto, permitiendo a la estructura disipar energía a través de la deformación, característica que no se podría lograr con el concreto simple.

Una de las fibras más utilizadas es la macrofibra de polipropileno. El concreto hidráulico con macrofibras de polipropileno se ha utilizado en pisos y pavimentos, túneles, carreteras, morteros especiales, elementos prefabricados de concreto, concreto lanzado, concreto de alta resistencia, entre otros. En el medio, el uso de fibras es más notorio en pisos industriales y en algunos casos, en pavimentos rígidos, todos aquellos elementos que tienen grandes áreas expuestas. Con este estudio se pretende aportar conocimiento sobre el comportamiento del concreto con adiciones de fibras y su desempeño en tenacidad. El conocer las propiedades y beneficios del concreto reforzado con macro fibras de polipropileno, permite dar nuevos usos y aplicaciones estructurales a la infraestructura del país.

Actualmente existen diversos estudios del concreto con fibras en países desarrollados como Suiza, España, México, Panamá, Colombia, entre otros. Sin embargo, Guatemala, no cuenta con

estudios formales del concreto reforzado con fibras de polipropileno, bajo el ensayo ASTM C1609, debido a que el equipo para medir tenacidad es una novedad en el país, y su disponibilidad en el medio es reciente. La importancia de realizar estudios del concreto reforzado con fibras va de la mano con los avances en los nuevos códigos de diseño y construcción que permiten su uso, reconociendo que esto puede ayudar a construir estructuras más dúctiles, que podrían permitir incluso reducir cuantías de acero y dimensiones de los elementos estructurales.

IV. PARTICULARIDADES DEL CONCRETO

4.1 Definición del concreto

El concreto consiste en una mezcla de arena, grava, roca triturada u otros agregados unidos en una masa rocosa por medio de una pasta de cemento y agua. (McCormac & Brown , 2011). El cemento y el agua interactúan químicamente para unir las partículas de agregado y conformar una masa sólida. El agua es necesaria no solo para la reacción química que se requiere, sino también para darle a la mezcla una trabajabilidad adecuada que permita llenar las formaletas y rodear el acero de refuerzo, si es que se requiere, antes que inicie el endurecimiento. Si se desea un rango mayor de propiedades, se utilizan cementos especiales, tales como los cementos de alta resistencia inicial (CEMENTO TIPO ARI), también se pueden utilizar agregados especiales, aditivos y métodos especiales de curado. (Nilson, 2001)

El concreto es el material más utilizado en la industria de la construcción por su durabilidad, resistencia, impermeabilidad, facilidad de producción y economía. Presenta, al igual que las piedras naturales una resistencia alta a la compresión, pero baja resistencia a la tracción, es por eso por lo que se refuerza con varillas de acero. (De López, 2003)

4.2 Componentes del concreto

El concreto es una mezcla de agregados y pasta, en donde, la pasta está compuesta de cemento y agua, la cual une a los agregados. Por lo general, los agregados están compuestos de arena y grava. Si se desea mejorar las propiedades del concreto se pueden incluir adiciones minerales en la pasta. (Kosmatka , Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

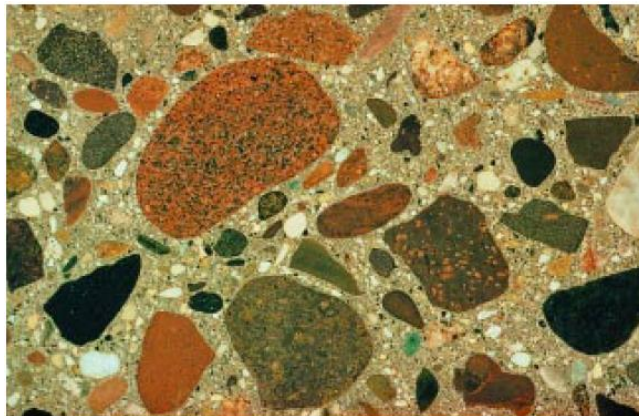
4.2.1 Agregados

Para concretos estructurales comunes, los agregados conforman entre el 70 y 75% del volumen de la masa endurecida. El resto del volumen está conformado por pasta de cemento endurecida, agua no utilizada en la hidratación del cemento y vacíos de aire. Los agregados naturales se clasifican en gruesos y finos. Los agregados naturales provienen de las rocas de las rocas. Es importante que el agregado tenga buena resistencia, durabilidad y resistencia a la intemperie,

además, su superficie debe estar libre de impurezas puesto que las mismas pueden debilitar la unión con la pasta de cemento o pueden causar una reacción química desfavorable entre éste y el cemento. (Nilson, 2001).

La calidad del concreto depende de la calidad de la pasta y del agregado, además, depende de la unión entre los dos. Un concreto confeccionado adecuadamente contiene cada partícula de agregado completamente cubierta por la pasta y todos los espacios entre las partículas de agregados se deben llenar totalmente con pasta. (Kosmatka , Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004). En la Figura 1 se puede observar la sección transversal del concreto endurecido, la pasta de cemento y agua cubre completamente cada partícula de agregado y llena todos los espacios entre las partículas. Los agregados influyen fuertemente en las propiedades del concreto, tanto en estado fresco como endurecido. Algunas de las propiedades del concreto que se ven influenciadas por las características del agregado son las siguientes: resistencia, peso unitario, módulo de elasticidad, creep y contracción, conductividad térmica, resistencia a la abrasión, resistencia a la temperatura, entre otros. Si los agregados poseen impurezas no deseables tales como el polvo, materia orgánica, sales, entre otros, deben ser eliminadas por medio del lavado. (Carrasco, 2012)

Fig. 1. Sección transversal del concreto endurecido.



Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto.(p.2) por Kosmatka , S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J, 2004.,Skokie, Illinois : Portland Cement Association .

Los agregados naturales provienen de las rocas y se obtienen por fragmentación, en donde conservan sus propiedades tales como densidad, porosidad y textura. Con el propósito de comprender las propiedades de los agregados es necesario estudiar la genealogía de las rocas y su

formación. Las rocas ígneas surgieron debido a fenómenos geológicos de la tierra al solidificarse el magma. De ellas surgieron las rocas sedimentarias y las rocas metamórficas. (De López, 2003)

Los agregados deben ser partículas limpias, duras, resistentes, durables y libres de productos químicos para que su hidratación y la adherencia a la pasta de cemento no se vea alterada. El tipo de agregado influye en el concreto que producen. Por ejemplo, la arena, grava y escoria de alto horno enfriada al aire producen concretos frescos de peso normal con peso volumétrico de 2200 a 2400 kg/ m³. Agregados de esquisto, arcilla y escoria expandidos se utilizan para producir estructuras de concreto liviano, con una densidad de concreto fresco de 1350 a 1850 kg/m³.. La piedra pómez, perlita y diatomita se utilizan para producir concreto ligero aislante con densidades que varían de 250 a 1450 kg/m³. Agregados pesados tales como barita, limonita, magnetita se utilizan para producir concreto de densidad elevada y blindaje para la radiación, el uso de estos agregados está normado por la ASTM C637 y C638. Los agregados de peso normal deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C33. (Kosmatka , Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

4.2.1.1 Agregado grueso

Consisten en la combinación de gravas o piedras trituradas con partículas mayores a 5 milímetros, sin embargo, generalmente consisten en partículas que oscilan entre 9.5 mm y 37.5mm. Algunos depósitos naturales de agregado consisten en grava y arena, por lo general, se excavan de la mina, del río, del lago o del lecho marino. La roca triturada se produce triturando la roca de cantera. El tamaño máximo del agregado influye en la economía del concreto. (Carrasco, 2012)

La demanda de cemento disminuye a medida que el tamaño máximo del agregado aumenta. Al utilizar agregados mayores a 50 mm el costo aumenta, pero se compensa debido a que se debe utilizar una menor cantidad de cemento. El tamaño máximo óptimo del agregado grueso para resistencias elevadas depende de la resistencia relativa del cemento, de la adherencia entre el cemento y el agregado y de la resistencia de las partículas del agregado. (Carrasco, 2012)

El tamaño máximo del agregado que se puede utilizar depende del tamaño y de la forma del miembro de concreto y de la cantidad y distribución del acero de refuerzo. El tamaño máximo no debe exceder: $1/5$ de la dimensión más pequeña del miembro de concreto, $3/4$ del espacio libre entre las barras de acero de refuerzo y entre las varillas de refuerzo y las cimbras y $1/3$ de la profundidad de las losas. (Carrasco, 2012)

Las características para un excelente agregado grueso son las siguientes:

- Debe tener distintos tamaños sucesivos puesto que la falta de ellos puede producir problemas de segregación. (De López, 2003)
- Se debe evitar el uso de agregados planos o alargados, puesto que producen una baja resistencia mecánica. Estos agregados tienden a colocarse horizontalmente y se forman bajo superficie bolsas de agua, el agua almacenada deja un espacio vacío cuando después del fraguado el agua se evapora, lo cual trae como consecuencia una reducción de la resistencia del concreto. (De López, 2003)

4.2.1.2 Agregado fino

El agregado fino es el material que pasa la malla No. 4 y que queda retenido en la malla No. 200. Sus tamaños oscilan entre 4.76 milímetros y 74 micras. La función del agregado fino es llenar los espacios vacíos y actuar como lubricante sobre los agregados gruesos dándole mayor manejabilidad al concreto. La importancia del agregado fino en la mezcla influencia en la textura de la mezcla, una mezcla sin agregado fino es áspera, mientras más agregado fino tenga la mezcla, se vuelve más cohesiva. Si se utilizara un solo tamaño de agregado, la mezcla tendría una cantidad de vacíos constante, independientemente del tamaño del agregado, sin embargo, cuando se combinan dos tamaños de agregados, la cantidad de vacíos disminuye, al igual que la cantidad de agua necesaria a utilizar. (Kosmatka , Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Las características para un agregado fino excelente son las siguientes:

- Debe ser bien graduado para que llene los espacios vacíos y pueda producir mezclas más compactas. (De López, 2003)

- La cantidad de agregado fino que pasa las mallas No. 50 y No. 100 afecta la manejabilidad y la facilidad de lograr buenos acabados. Por lo tanto, el porcentaje que pasa por dichos tamices debe estar entre el 10 y 30%. Si se desea una textura superficial tersa, se debe utilizar un agregado fino, en donde 15% pase el tamiz No. 50 y 3% el tamiz No. 100. Si la colocación del concreto no es complicada, como por ejemplo en pavimentos si se pueden utilizar agregados en donde el 30% pase dichos tamices. (Gutiérrez, 2003)
- El módulo de finura debe estar entre 2.3 y 3.1 puesto que una arena muy gruesa provoca mezclas muy ásperas. (Gutiérrez, 2003)
- La arena no debe tener materia orgánica, por lo que se debe lavar y retirar la presencia de dicha materia. (Gutiérrez, 2003)

4.2.2 Agua

Cualquier agua natural que sea potable y que no presente fuerte sabor u olor se puede utilizar como agua de mezclado para el concreto. Sin embargo, en algunos casos, también se puede emplear agua que no sea potable, pero se debe verificar su desempeño. Por ejemplo, la norma ASTM C109 aconseja que los cubos de mortero con agua que no sea potable tengan la resistencia a los 7 días igual a por lo menos el 90% de la resistencia de los especímenes de referencia preparados con agua potable o agua destilada. Las normas ASTM C94 presentan los criterios de aceptación para el agua que será utilizada en el concreto. (Kosmatka , Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

La importancia de utilizar agua sin impurezas radica en que el exceso de las mismas puede afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto. Además, puede causar eflorescencias, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad. Existen diversos tipos de agua que se pueden utilizar, es importante conocer el efecto que tiene cada una sobre el concreto. A continuación, se detalla el efecto de cada tipo de agua sobre el concreto. (Kosmatka , Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Agua de mar

El agua de mar con una concentración de sales disueltas de 35,000 ppm, normalmente se puede utilizar como agua de mezclado para el concreto que no contenga acero. El concreto con agua de mar presenta una resistencia temprana del concreto más elevada que la del concreto con

agua normal. Sin embargo, la resistencia a edades mayores puede ser menor, la cual se puede compensar con la reducción de la relación agua-cemento. (Kosmatka , Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

El agua de mar no es apropiada para la preparación de concreto reforzado con acero ni se debe utilizar en concreto pretensado debido al riesgo de la corrosión de la armadura, principalmente en ambientes cálidos y húmedos. Si se llega a utilizar agua de mar para el concreto sin refuerzo, en aplicaciones marítimas, se deben emplear cementos de moderada resistencia a los sulfatos (TIPO MRS) y una baja relación agua-cemento. Por otra parte, el agua de mar empleada en el concreto también tiende a causar eflorescencias y manchas en la superficie del concreto expuesta al aire y al agua. (Kosmatka , Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Aguas ácidas

La aceptación de aguas ácidas en la mezcla del concreto se debe basar en la concentración de los ácidos en el agua. Por lo general, la aceptación se basa en el pH, el valor del agua neutra es 7.0, valores inferiores a 7.0 indican acidez y valores superiores a 7.0 indican alcalinidad. Las aguas con pH menor que 3.0 pueden crear problemas de manoseo y se deben evitar. Además, los ácidos orgánicos en altas concentraciones pueden tener un fuerte efecto sobre la resistencia. (Kosmatka , Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Aguas alcalinas

Aguas con concentraciones de hidróxido de sodio del 0.5% en peso de cemento no afectan considerablemente la resistencia del concreto desde que no se induzca el fraguado rápido. Sin embargo, concentraciones más elevadas pueden reducir la resistencia del concreto. (Kosmatka , Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Aguas de enjuague

El agua de enjuague de lavado se utiliza normalmente en el concreto premezclado, pero debe cumplir con ciertos límites y especificaciones. (Kosmatka , Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Aguas de desechos industriales

La mayoría de las aguas industriales presentan menos de 4000 ppm de sólidos totales. Si se utiliza esta agua para preparar el concreto, la reducción de la resistencia a compresión no supera el 10%-15%. No es recomendable utilizar aguas de plantas químicas, fábricas de pintura, plantas de coque y de galvanización puesto que pueden contener impurezas peligrosas. (Kosmatka , Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Otro aspecto importante que se debe considerar es la relación agua / cemento. Dicha relación es importante puesto que es relacionada con la resistencia del concreto. Mientras más agua se adicione, mayor será la fluidez de la mezcla. Por lo que, la mano de obra se ve beneficiada debido a la trabajabilidad y plasticidad. Sin embargo, la resistencia disminuye debido al mayor volumen de espacios creado por el agua libre. Por lo que, la relación agua / cemento también tiene una influencia determinante en la durabilidad del concreto. La resistencia y la durabilidad están íntimamente correlacionadas. Una modificación en una de ellas implica también una modificación de la otra. (Martínez, 2014)

Para cualquier tipo de materiales y condiciones de curado, la calidad del concreto endurecido es fuertemente influenciada por la cantidad de agua utilizada en relación a la cantidad de cemento. Las ventajas de la disminución de la cantidad de agua son las siguientes:

- Aumento de la resistencia a compresión y a flexión.
- Disminución de la permeabilidad y de la absorción.
- Aumento de la resistencia a las intemperies.
- Mejoría en la unión entre el concreto y la armadura.
- Reducción de la retracción y fisuración.

Al utilizar una menor cantidad de agua, la calidad del concreto mejora ya que la mezcla se puede consolidar adecuadamente. Además, al utilizar una menor cantidad de agua de mezclado resultan mezclas más rígidas, si éstas se vibran, resulta más fácil la colocación. La consolidación por vibración produce una mejoría en la calidad del concreto. (Kosmatka , Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

4.2.3 Aditivos

Los aditivos son productos que modifican tanto las propiedades del concreto fresco como del endurecido. Los aditivos químicos normalmente se emplean para el ajuste del tiempo de fraguado o endurecimiento, para la reducción de la demanda de agua, para el aumento de la trabajabilidad, para la inclusión voluntaria de aire y para el ajuste de otras propiedades del concreto fresco o endurecido. (Kosmatka , Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Se agregan en pequeñas cantidades a la mezcla inmediatamente antes o después del mezclado. La norma COGUANOR NTG 41070 (ASTM C494) especifica los aditivos químicos que se utilizan para el concreto. Se indican ocho tipos distintos de aditivos para el cemento hidráulico:

- TIPO A: Aditivos reductores de agua: Aditivo que reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia dada. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2011). Para este estudio, se utilizó un aditivo de este tipo, llamado Master Glenium 3020, el cual es un aditivo reductor de agua de alto rango.
- TIPO B: Aditivos retardadores: Aditivo que retarda el fraguado y el desarrollo de la resistencia inicial del concreto. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2011). Para este estudio se utilizó MasterPolyheed 789, el cual cumple con esta especificación ya que es un aditivo reductor de agua y retardante.
- TIPO C: Aditivos aceleradores: Aditivo que acelera el fraguado y el desarrollo de la resistencia inicial del concreto. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2011)
- TIPO D: Aditivos reductores de agua y retardadores: Aditivo que reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir una consistencia dada y retarda el fraguado y el desarrollo de la resistencia inicial del concreto. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2011)

- TIPO E: Aditivos reductores de agua y aceleradores: Aditivo que reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir una consistencia dada y acelera el fraguado y el desarrollo de la resistencia inicial del concreto. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2011)
- TIPO F: Aditivos reductores de agua de alto rango: Aditivo que reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia dada en un 12% o más. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2011)
- TIPO G: Aditivos reductores de agua, de alto rango y retardadores: Aditivo que reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia dada en un 12% o más y retarda el fraguado del concreto. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2011)
- TIPO S: Aditivos de desempeño específico: Aditivo que provee las características de desempeño deseables, diferentes a la reducción del contenido de agua o a las del cambio del tiempo de fraguado sin producir efectos adversos sobre las propiedades del concreto endurecido y su durabilidad. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2011)

El Cuadro 1 muestra los principales aditivos, sus dosis y las propiedades que se modifican del concreto, las aplicaciones recomendadas y las limitaciones de cada uno de ellos.

Cuadro 1. Tipos de aditivos y su función

ADITIVO	DOSIS (Sobre el peso de cemento)	PROPIEDAD QUE CONFIERE AL CONCRETO	APLICACIONES RECOMENDADAS	LIMITACIONES
Incorporador de aire	0.03% - 0.05%	Resistencia al hielo y deshielo, mayor docilidad, menor permeabilidad y eventual exudación.	Protección al hielo-deshielo, para pavimentos y como protección para agentes químicos	Menor resistencia mecánica
Reductores de agua	0.1% - 0.4%	Mayor docilidad con agua constante, mayor facilidad de colocación y compactación	Concretos bombeados y premezclado, concretos de elementos prefabricados, concretos de alta resistencia	-
Fluidificantes	0.5%-1% para aumentar docilidad. 1%-3% del peso del concreto	Aumentan la facilidad reduciendo el agua de amasado, con un incremento de resistencia	Hormigonado de piezas estrechas, concretos bombeados, concretos de alta resistencia, concretos para prefabricados.	El efecto dura un plazo breve.
Superplastificantes	0.5% - 2%	Actúan como reductores de agua dando una consistencia fluida sin disminución de resistencias, disminución de retracciones y fisuración, facilidad de colocación y calidad homogénea.	Concreto bombeado, concretos pretensados, concreto de alta resistencia, morteros y lechadas de inyección, concreto para elementos esbeltos	En sobredosis puede provocar segregación.
Aceleradores de fraguado	1:2 a 15 (Aditivo: agua) Máximo 1:6	Aumentan las resistencias iniciales	Concreto en tiempo frío, concreto proyectado, concretos prefabricados	Contienen productos corrosivos, en el concreto armado se deben tomar precauciones.
Retardadores de fraguado	0.3% - 1.5%	Retrasan el inicio de fraguado manteniendo la docilidad por más tiempo. Reducen el riesgo de fisuración al permitir la disipación del calor de	Concreto premezclado, transporte a gran distancia, evitar juntas frías.	Una sobredosis puede provocar una demora excesiva.
Impermeabilizante	0.5% - 4%	Disminuye la absorción de humedad.	Concretos subterráneos, losas de cubiertas, pisos impermeables	-

Fuente: ICH, (2008) "Los aditivos". [Cuadro 1]. Recuperado de:
<http://www.registrocdt.cl/registrocdt/www/admin/uploads/docTec/aditivos.pdf>

4.3 Concreto fresco y endurecido

Las propiedades principales del concreto fresco son las siguientes: trabajabilidad, asentamiento, movilidad, segregación, consolidación, tiempo de fraguado, endurecimiento, exudación y contracción. A continuación, se detallarán cada una de ellas.

Trabajabilidad

Se define por la facilidad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. El concreto debe ser trabajable, pero sus componentes no deben separarse durante el transporte. El grado de trabajabilidad se controla por los métodos de colocación, tipo de consolidación y tipo de concreto. Los factores que influyen en la trabajabilidad son: el método y duración del transporte, la cantidad y características de los materiales cementantes, la consistencia del concreto, el tamaño, forma y textura superficial de los agregados, el aire incorporado, la temperatura del concreto y los aditivos. Algunos factores que mejoran la trabajabilidad son la distribución uniforme de las partículas de agregado y la presencia de aire incorporado. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

Fig. 2. Consistencia de la mezcla elaborada



Fuente: Elaboración propia

Las propiedades relacionadas con la trabajabilidad incluyen consistencia, segregación, movilidad, exudación y bombeabilidad. Para medir la consistencia del concreto se utiliza el cono de Abrams. Un concreto con bajo asentamiento tiene una consistencia rígida y seca. La mezcla debe ser lo más seca posible para evitar que ocurra segregación y formación de huecos. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

Exudación y asentamiento

La exudación se conoce también como sangrado y es el desarrollo de una capa de agua en la superficie del concreto recién colocada. Es causada por el asentamiento de las partículas sólidas y por la subida de agua hacia la superficie. La retracción por sedimentación ocurre cuando el agua de la exudación se evapora y la superficie endurecida va a ser más baja que la superficie recién colocada. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

Es importante controlar la exudación puesto que la excesiva relación agua / cemento cerca de la superficie puede causar vacíos y bolsas de agua, resultados del acabado prematuro de la superficie. Además, si la velocidad de evaporación es menor que la velocidad de exudación, la capa de agua que se forma resulta en una zona porosa y de baja resistencia al desgaste. Por el contrario, si la velocidad de evaporación es mayor que la de exudación se pueden producir grietas de contracción. La exudación puede ser controlada con aditivos inclusores de aire, cementos más finos y un control de agregado fino. (Gutiérrez, 2003)

Segregación

Consiste en la separación de los materiales que constituyen la mezcla de concreto. Los factores que producen la segregación son los siguientes:

- Diferencia en tamaño de las partículas.
- Mala distribución granulométrica de los agregados.
- Inadecuados procesos del concreto como mezclado, transporte, colocación y compactación.

La segregación se produce de dos formas: las partículas gruesas tienden a separarse de las otras por la gravedad, por lo general, ocurre en mezclas secas y poco plásticas. Además, puede ocurrir

por la separación del cemento y del agua, lo cual ocurre en mezclas muy fluidas. La segregación debilita el concreto, afecta la durabilidad y deja un acabado pobre en la superficie.

Las medidas para reducir la segregación son las siguientes:

- Emplear una buena granulometría.
- Reducir el agua de amasado.
- Utilizar medios de transporte adecuados.
- Reducción de espesor de la masa transportada.
- Emplear un concreto con una relación A/C reducida si se utiliza compactación por vibración.
- Evitar el excesivo tiempo de vibrado.

Consolidación

La consolidación por vibración mueve las partículas del concreto recién mezclado y reduce la fricción entre ellas. La vibración permite el uso de mezclas más rígidas con mayores proporciones de agregado grueso y menores proporciones de agregado fino. El concreto con la granulometría óptima del agregado es más fácil de consolidarse y colocarse. La consolidación del agregado grueso mejora la calidad y la economía. Una mala consolidación puede provocar un concreto poroso, con poca durabilidad, con baja resistencia a la compresión y puede provocar la corrosión temprana de la mezcla. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

Hidratación

La hidratación de la pasta de cemento determina la calidad de adhesión de la pasta de cemento. Al mezclar el concreto no se debe utilizar más agua de la necesaria para obtener un concreto plástico y trabajable puesto que mientras menos porosa es la pasta, más resistente es el concreto. Aproximadamente se necesitan 0.4 gramo de agua por gramo de cemento para la hidratación completa del cemento. Sin embargo, en las obras no se hidrata el concreto por completo debido a la falta de humedad y al largo período que se requiere para obtener la hidratación total. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

La hidratación se ve afectada por la temperatura del ambiente. Por ejemplo, en invierno, el calor de hidratación va a ayudar a proteger el concreto por las temperaturas muy bajas. Por el

contrario, el calor puede ser perjudicial en estructuras masivas como presas. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

Contracción

La contracción ocurre cuando el concreto pierde agua, se presenta en las superficies horizontales. Por lo general, genera grietas que aparecen después de que el brillo de agua desaparece de la superficie del concreto. Las grietas más comunes en climas calientes y secos por la evaporación extremadamente rápida del agua de la superficie del concreto. Según el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, existen diversos tipos de contracción, los cuales se detallan a continuación.

- Contracción por secado: involucra el movimiento y pérdida de agua dentro de los poros extremadamente pequeños de la pasta hidratada de cemento.
- Contracción autógena: ocurre dentro de la masa de concreto, sin contacto con el medio ambiente.
- Contracción térmica: ocurre debido a una disminución en la temperatura del concreto diferente al tiempo de colocado.
- Contracción por carbonatación: resulta de la reacción del cemento hidratado con el dióxido de carbono en el aire en presencia de humedad.

Las propiedades del concreto endurecido son las siguientes: curado, velocidad de secado del concreto, resistencia, peso unitario, permeabilidad, resistencia a abrasión, estabilidad de volumen y control de fisuración y durabilidad.

4.4 Concreto reforzado

El concreto reforzado es un material estructural en el que se integran las propiedades del concreto simple y del acero de refuerzo. Es necesario que ambos materiales estén íntimamente unidos para resistir los esfuerzos de tensión que resulten de las cargas aplicadas. Algunas veces se utiliza refuerzo adicional para reforzar la zona de compresión de las secciones de las vigas de concreto. Dicho acero es necesario para cargas pesadas a fin de reducir las deformaciones a largo plazo. (Harmsen, 2002)

Joseph Monier, de origen francés, es considerado el creador del concreto reforzado. Se dedicaba a la jardinería, fabricó macetas de concreto de refuerzo con mallas de alambre. En los siguientes años, patentó el uso de esta técnica para la construcción de tanques, puentes, tuberías, vigas, columnas y escaleras. En Estados Unidos, Thaddeus Hyatt, abogado e ingeniero, realizó experimentos en vigas de concreto reforzado en 1850, investigó acerca de la resistencia de concreto al fuego y llegó a la conclusión que los coeficientes de dilatación térmica, tanto del concreto como del acero eran muy similares. En la actualidad, este material es el más utilizado en la construcción del país. (Harmsen, 2002)

Algunas de las ventajas del concreto reforzado frente a otros materiales son las siguientes:

- Durable a lo largo del tiempo y no requiere de una gran inversión para su mantenimiento, tiene una vida útil extensa.
- Resistencia elevada a la compresión en comparación con otros materiales.
- Resiste al efecto del agua.
- Sufre daños únicamente superficiales en fuegos de intensidad media. En comparación con la madera, el concreto reforzado es más resistente al fuego.
- Resiste eficientemente las cargas laterales de viento o sismo.

Algunas de las desventajas del concreto reforzado son las siguientes:

- Presenta poca resistencia a la tracción, aproximadamente la décima parte de su resistencia a la compresión, la formación de grietas es inevitable.
- Requiere desencofrado, el costo del desencofrado puede alcanzar entre 1/3 y 2/3 del costo total de la obra.
- Requiere de control de calidad permanente, ésta se ve afectada por las operaciones de mezcla, colocación y curado.
- Presenta deformaciones variables con el tiempo. Bajo cargas sostenidas, las deflexiones en los elementos se incrementan con el tiempo.

Debe existir una adherencia entre la superficie del concreto y del acero. Para favorecer esta adherencia, la superficie el acero debe ser rugosa, por lo mismo se utilizan varillas de acero corrugado y el concreto debe ser vibrado luego de ser colocado en los moldes. (Harmsen, 2002)

Las corrugaciones deben cumplir con la especificación ASTM A616-76 para que sean aceptadas como varillas corrugadas. Las propiedades más importantes del acero de refuerzo son: módulo de Young, resistencia de fluencia, resistencia última, designación del grado de acero y el tamaño o diámetro de la varilla. Algunos sistemas de estructuras de concreto reforzado se componen de varios elementos estructurales, entre ellos, las losas de piso, vigas, columnas, muros y cimentaciones. (Harmsen, 2002)

4.5 Propiedades mecánicas del concreto

El concreto endurecido presenta propiedades mecánicas, entre las cuales se encuentran: la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad y la relación de Poisson, ductilidad, resistencia a la tensión y flexión y tenacidad. Dichas propiedades se describen a continuación.

4.5.1 Resistencia a la compresión

La resistencia mecánica del concreto, por lo general, se identifica con su resistencia a compresión. Se define como la resistencia máxima medida en un cilindro de concreto sometido a carga axial. Para determinar estas resistencias se deben realizar pruebas en especímenes de concreto a los 3,7,14 y 28 días de fraguado, con condiciones controladas de humedad. Se expresa en MPa y se representa mediante f'_c . La norma que rige la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes de cilindros de concreto es la COGUANOR NTG 41017 h1 (ASTM C39).

Fig. 3. Resistencia a la compresión



Fuente: Elaboración propia

El método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que se encuentra en un rango prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a compresión se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por el área de la sección transversal del espécimen. La norma COGUANOR NTG 41017 h1 (ASTM C39) establece el diámetro máximo de los especímenes de ensayo, los cuales se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Diámetro máximo de especímenes de ensayo

Diámetro máximo de especímenes de ensayo mm (pulg)	Diámetro de la cara de apoyo mm (pulg)
50 (2)	105 (4)
75 (3)	130 (5)
100 (4)	165 (6.5)
150 (6)	255 (10)
200 (8)	280 (11)

Fuente: Determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto. (p.7) por COGUANOR. 2010.,Guatemala.

Los especímenes de ensayo deben ser mantenido húmedos por cualquier método conveniente durante el período entre que se sacan del almacenamiento húmedo y el ensayo. Deben ser ensayados en condición húmeda. (Comisión Guatemalteca de normas, 2010).

Fig. 4. Cilindros en un ambiente húmedo



Fuente: Elaboración propia

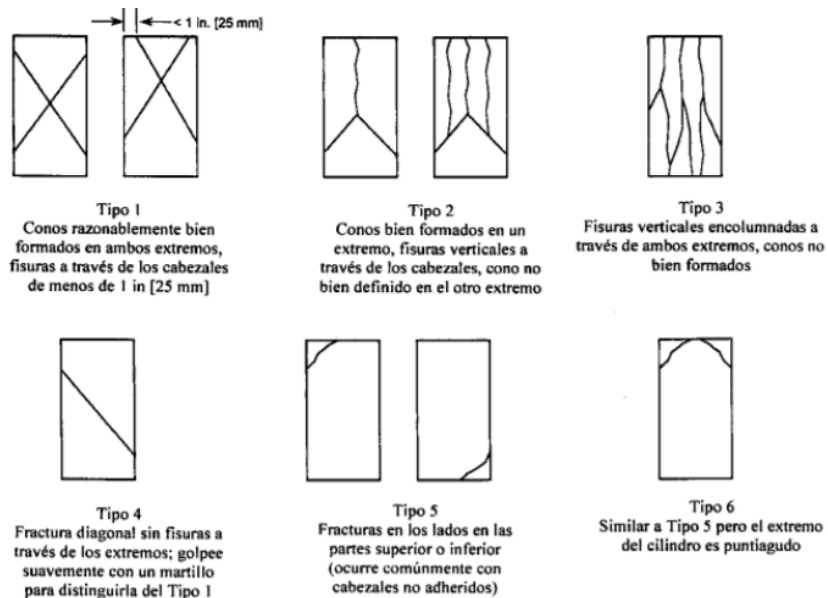
Todos los especímenes de ensayo, para una edad de ensayo dada deben romperse dentro de las tolerancias de tiempo admisibles descritas a continuación:

- 24 días: ± 0.5 horas
- 3 días: 2 horas
- 7 días: 6 horas
- 28 días: 20 horas
- 90 días: 2 días

La carga debe aplicarse a una velocidad de movimiento correspondiente a una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de 0.25 ± 0.05 MPa. La velocidad de movimiento designada debe ser mantenida al menos durante la última mitad de la fase de carga prevista. Se debe aplicar la carga de compresión hasta que el indicador de carga muestre que la carga está decreciendo progresivamente y el espécimen muestre un patrón de fractura bien definido. (Comisión Guatemalteca de normas, 2010)

Existen seis modelos de fractura típicos, los cuales se muestran a continuación.

Fig. 5. Tipos de falla en los cilindros



Fuente: Determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto. (p.7) por COGUANOR. 2010., Guatemala.

La resistencia a compresión se determina que la mezcla de concreto cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada f'_c del proyecto. Además, los resultados se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia del concreto en estructuras, para programar las operaciones de construcción como la remoción de cimbras o para evaluar la conveniencia de curado y protección suministrada a la estructura. Los requerimientos de la resistencia a compresión pueden variar desde 2500 psi (17 MPa) para concreto residencial hasta 4000 psi (28 MPa) para estructuras comerciales. (National Ready Mixed Concrete Association , 2013)

Los criterios de aceptación son los siguientes:

- El promedio de tres ensayos consecutivos es igual o supera la resistencia especificada f'_c . (National Ready Mixed Concrete Association , 2013)
- Ninguno de los ensayos de resistencia debe arrojar un resultado inferior a 500 psi (3.45 MPa) ni ser superior de 0.10 f'_c cuando f'_c sea mayor de 5000 psi (35MPa). (National Ready Mixed Concrete Association , 2013)

Cuando en la obra se obtenga una resistencia menor que la especificada, se disminuirá el factor de seguridad de la estructura. Se debe obtener una resistencia a la compresión promedia mayor que la especificada f'_c puesto que en obra se obtienen diferentes valores de resistencia para una misma mezcla debido a las variaciones en la dosificación, mezcla, transporte, colocación, compactación y curado del concreto. (National Ready Mixed Concrete Association , 2013)

4.5.2 Resistencia a la tensión en flexión

En el ensayo del concreto a tensión por flexión se produce un estado combinado de esfuerzos en donde la resistencia se concentra tanto en la pasta de concreto como en los agregados. Es una medida de la resistencia a la tracción del concreto. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto (National Ready Mixed Concrete Association , 2008)

Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 150 mm x 150 mm de sección transversal y con una luz de 3 veces su espesor como mínimo. La resistencia a flexión se expresa como módulo de rotura (MR) en MPa y se determina mediante los métodos de ensayo de la norma COGUANOR NTG 41017 h2 (ASTM C78). El módulo de rotura por flexión es aproximadamente

del 10% al 20% de la resistencia a compresión. Para un concreto de peso normal, se aproxima del 1.99 a 2.65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a compresión. (National Ready Mixed Concrete Association , 2008)

Fig. 6. Ensayo a flexión



Fuente: Elaboración propia

4.5.3 Módulo de elasticidad y relación de Poisson

El módulo de elasticidad caracteriza la rigidez de un material y su capacidad de deformación, se denota por el símbolo E_c . La norma COGUANOR NTG 41017 h16 (ASTM C469-02) establece la determinación del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del concreto a compresión.

El coeficiente de Poisson es la relación entre las deformaciones unitarias lateral y axial, se representa mediante μ . La relación de Poisson en el concreto de peso normal está comprendida entre 0.15 y 0.25 y depende del tipo de agregado, de la edad del concreto, de la humedad de éste y de la resistencia a la compresión. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

El módulo de elasticidad y la relación de Poisson se utilizan para el dimensionamiento de elementos reforzados o no reforzados, para establecer la cantidad de refuerzo y para calcular los esfuerzos para las deformaciones unitarias observadas. Para determinar el módulo de elasticidad se utiliza un compresómetro y para determinar el módulo de Poisson se utiliza un extensómetro. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2011)

El valor del módulo de elasticidad del concreto varía con las distintas resistencias del concreto, con la edad de este, con el tipo de carga y con las características y proporciones de los agregados. La sección 19.2.2 del código ACI 318-14 establece que el módulo de elasticidad es la pendiente de la línea trazada desde un esfuerzo nulo hasta un esfuerzo de compresión de 0.45 f'_c . El módulo de elasticidad se calcula de la siguiente manera:

Para valores w_c entre 90 y 160 lb/ft³

$$E_C = w_c^{1.5} * 33 * \sqrt{f'_c} \text{ (lb/in}^2\text{)} \quad (1)$$

En donde,

E_C = Módulo de elasticidad del concreto

w_c = Peso unitario del concreto endurecido

f'_c = resistencia a compresión del concreto.

Para concreto de peso normal

$$E_C = 57,000 * \sqrt{f'_c} \text{ (lb/in}^2\text{)} \quad (2)$$

$$E_C = 4700 * \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)} \quad (3)$$

$$E_C = 15,100 * \sqrt{f'_c} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \quad (4)$$

Los factores que afectan el módulo de elasticidad del concreto son los siguientes:

- La humedad, mientras mayor sea, mayor será el módulo de elasticidad puesto que durante el secado se produce una micro fisuración. (Pereyra, 2015)
- La velocidad de aplicación de carga afecta el valor del módulo de elasticidad obtenido, mientras menor sea la velocidad, menor será el resultado. (Pereyra, 2015)
- El módulo de elasticidad está determinado por la relación A/C (Pereyra, 2015)
- El módulo de elasticidad en el agregado tiene gran influencia en el módulo de elasticidad del concreto, mientras mayor sea, mayor será el valor de módulo de elasticidad obtenido. (Pereyra, 2015)

4.5.4 Ductilidad

La ductilidad es la capacidad que tienen algunos materiales de admitir grandes deformaciones sin perder su resistencia. Si se dice que un material es frágil, es porque no tiene ductilidad. Un concreto dúctil en tensión tiene capacidad para soportar estiramiento de aproximadamente 2300 veces que el del concreto normal antes que se fracture. En flexión, el concreto dúctil se deforma hasta parecer una viga curva. En compresión, algunas veces el concreto dúctil alcanza la misma resistencia a compresión que el concreto de alta resistencia. (De López, 2003) Según Carlos Romea, la ductilidad se puede definir como la aptitud de un material para deformarse de manera inelástica, no elástica, conservando su rigidez y una resistencia que no altere su capacidad portante.

Las vigas de concreto reforzadas pueden presentar una falla dúctil o frágil. Una falla dúctil, debido a la flexión, la cara interior de la viga tiende a alargarse por estar sometida a tracción. La fuerza de tracción es absorbida por el acero de refuerzo colocado en esa cara. La cantidad y abertura de las fisuras es un aviso de que algo está pasando y se pueden tomar previsiones, de lo contrario, las fisuras se convierten en grietas y la seguridad puede verse comprometida. (SIDETUR, 2011). En la Figura 7 se puede observar una falla frágil (izquierda) y una falla dúctil (derecha), el concreto con una falla dúctil no se agrieta de una manera súbita. El concreto es capaz de soportar carga después del agrietamiento.

Fig. 7. Falla frágil y dúctil



Fuente: Elaboración propia

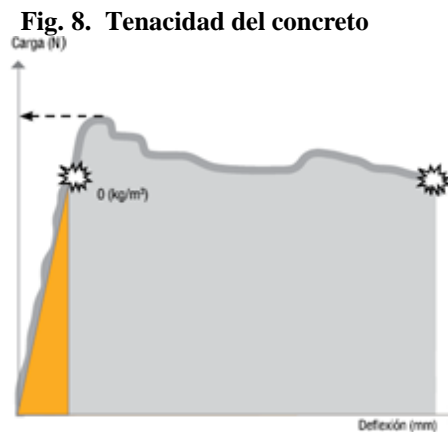
4.5.5 Tenacidad

La tenacidad es una medida de la capacidad de un material de absorber energía durante la deformación plástica, antes de la fractura. La tenacidad de fractura es una propiedad que indica la resistencia a la fractura de un material cuando existe una grieta. Los materiales tenaces absorben con mayor facilidad la energía cinética de una masa que choca con ellos que los que no lo son. Los materiales que presentan alta resistencia y alta deformabilidad tienen una tenacidad adecuada. La tenacidad se ve influenciada al adicionarle fibras al concreto, en este caso, la tenacidad mide la capacidad de absorción de energía del concreto con fibras. (Rojas , 2017)

La tenacidad del concreto se determina a partir de ensayos a flexión, utilizando losas o vigas. Se puede calcular como el área bajo la curva de la gráfica Carga (N) vs desplazamiento (mm), tal como se puede observar en la Figura 8. La unidad de la tenacidad es $N \cdot mm$ o Joule. Si se adicionan fibras al concreto, el índice de tenacidad depende del tipo de fibras y de su dosificación, sin embargo, también se ve influenciada por la resistencia y la calidad de la matriz del concreto. La tenacidad describe la capacidad del concreto reforzado con fibras para mantener y potencialmente redistribuir las cargas desde que la fisuración comienza. (Rojas , 2017)

La tenacidad se cuantifica en términos de la capacidad de carga o de la absorción de energía post-agrietamiento. Un parámetro que influye en gran medida en la mejora de la tenacidad del

concreto corresponde al anclaje que la fibra tenga con la matriz de concreto, puesto que la fibra es la encargada de resistir el agrietamiento. (Rojas , 2017)



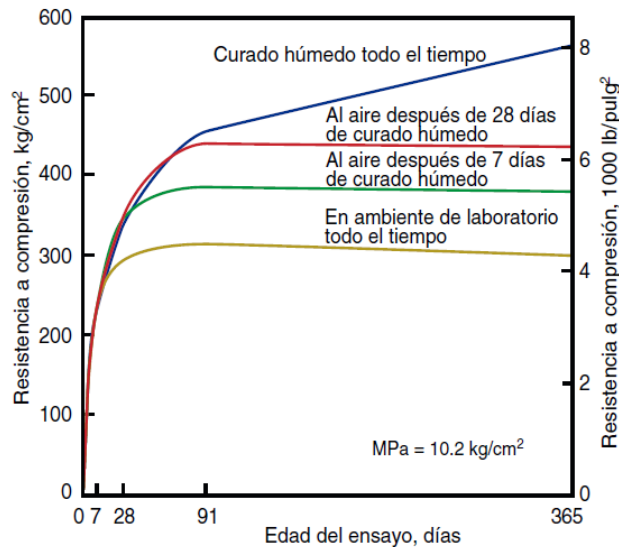
Fuente: Sika(2014). "Concreto Reforzado con Fibras". [Figura 3]. Recuperado de:
<https://col.sika.com/.../Concreto%20reforzado%20con%20fibras.pdf>

La norma ASTM C1609 establece el método de prueba para rendimiento de flexión del concreto reforzado con fibra (mediante el método de carga en los tercios de la luz), se utiliza para determinar la tenacidad del concreto reforzado con fibras. La prueba evalúa en términos de área bajo la curva de carga-deflexión, obtenida mediante pruebas de una viga simple con 3 o 4 puntos de carga. La curva proporciona la evaluación de la capacidad de absorción de energía de la viga y su magnitud depende de las características geométricas de la viga y del sistema de carga que se considere. (D´Amico, 2012)

4.6 Curado del concreto

El curado del concreto consiste en mantener el concreto húmedo para que la adherencia entre la pasta y los agregados se incrementa. El concreto se cura inmediatamente después de aplicar un acabado a la superficie del concreto. La resistencia del concreto aumenta con la edad siempre y cuando haya una humedad adecuada y una temperatura favorable. La Figura 9 muestra la relación entre el curado y la resistencia a compresión.

Fig. 9. Curado del concreto y su resistencia



Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto.(p.2) por Kosmatka , S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J, 2004.,Skokie, Illinois : Portland Cement Association .

Es mucho mejor que el curado húmedo sea aplicado continuamente desde el momento de la colocación hasta que el concreto haya alcanzado la calidad deseada. Los concretos en ambientes internos secan completamente después del curado y no continúan a desarrollar resistencia. Las ventajas de curar el concreto son las siguientes: tienen menos probabilidad de agrietarse, tiene una superficie que resiste mejor el desgaste, es más durable y es más resistente.

La norma que rige el curado de especímenes de ensayo de concreto en obra es la COGUANOR NTG 41061 (ASTM C31) y la que rige el curado de especímenes de ensayo de concreto en laboratorio es la COGUANOR NTG 41060 (ASTM C192-07). La importancia del curado del concreto radica en que por lo menos el 30% de la resistencia puede perderse por secado prematuro del concreto. Para evitar pérdida de resistencia el concreto debe protegerse de la pérdida de humedad por lo menos 7 días. Un concreto húmedo adecuado permite un mejor control de la retracción de fraguado. (Nilson, 2001)

Algunos de los procedimientos de curado son:

- Curado con agua: por medio de inundación, riego, cubrir con materiales saturados tales como telas, arena, papel, algodón, etc. (Gutiérrez, 2003). La Figura 10 muestra el curado

- Intentar no dar acabado mientras haya presencia de agua de exudación
- Comenzar un curado continuo de inmediato y no someter la superficie a ciclos de mojado y seco
- Minimizar el contenido de agua.
- Utilizar el máximo tamaño posible de agregado

También existen las grietas por contracción por secado, en donde el concreto pierde humedad debido a la hidratación del cemento y a la evaporación. Ese tipo de contracción no es un problema si el concreto no está restringido, si está completamente libre para moverse. Por el contrario, si está restringido, se desarrollará un esfuerzo de tensión, cuando este esfuerzo supera la capacidad del concreto para soportarlo se agrieta. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2007)

Las grietas también suelen desarrollarse por movimiento térmico, el cual se genera debido al calor generado en el proceso de hidratación del cemento. El calor de hidratación se ve influenciado por varios factores, entre los cuales resaltan: la cantidad de cemento utilizado, el tipo de cemento, las propiedades de los agregados, la temperatura de colocación del concreto y de la temperatura ambiente. Para reducir la acumulación de temperatura en el concreto se recomienda: utilizar agregados más grandes, utilizar aditivos reductores de agua y disminuir la temperatura de colocación. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2007)

Las juntas permiten controlar efectivamente agrietamientos, por ejemplo, si una extensión considerable de concreto no contiene juntas convenientemente espaciadas que alivien la contracción por secado y por temperatura, el concreto se agrietará. Las juntas se forman en banquetas, calzadas, pisos y pavimentos para que las grietas ocurran en las juntas y no aleatoriamente. Además, las juntas permiten movimientos en el plano de una losa. (Crespo,2016).

V. FIBRAS

5.1 Evolución histórica del concreto reforzado con fibras.

El concreto reforzado con fibras se ha utilizado en los últimos años debido a sus novedosas aplicaciones, sin embargo, existen desde la antigüedad, surgen por la búsqueda de mayor resistencia y durabilidad

5.1.1 Antecedentes

Desde la antigüedad, las fibras se han utilizado para reforzar los materiales frágiles. Alrededor del año 300 a.C, los egipcios utilizaban pelo de caballo y fibras de paja para fortalecer sus morteros y ladrillos. Alrededor de 1540, se construyó una casa en Estados Unidos a base de ladrillos de adobe cocidos al sol, reforzados con fibras de paja. Otras de las fibras que se han utilizado en la antigüedad para mejorar la calidad de ladrillos secados al sol, bloques y morteros son las de yute y bambú, por su excelente módulo de elasticidad. (ACI Committe 544, 2002)

A principios del siglo XX, el austriaco Hatschek patenta la mezcla del amianto con el cemento y aparece en el mercado el fibrocemento. El amianto está compuesto por fibras microscópicas que pueden permanecer en suspensión en el aire. Desde entonces, los productos de construcción de cemento de amianto son ampliamente utilizados en todo el mundo. Sin embargo, las fibras de amianto pueden provocar serios daños a la salud, se considera cancerígeno, por lo que su uso se volvió controversial. (ACI Committe 544, 2002)

Alrededor del año 1910, se comprobó que la incorporación de espigas de trigo mejoraba algunas propiedades del concreto. Alrededor del siglo XX, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército Americano realizaron investigaciones del concreto reforzado con fibras de polipropileno, acero e incluso fibras de origen vegetal, con el propósito de construir instalaciones militares en zonas de conflicto. Con el objetivo de reducir el espesor de los elementos de concreto, se empezó a utilizar la fibra de vidrio en la Unión Soviética, su uso se extendió y a partir de la década de los 50 surgió como sustitución de las fibras de asbesto. (Frómeta, 2015)

5.1.2 Uso de fibras en la actualidad

En la actualidad, el uso de fibras se ha ido extendiendo en la industria de la construcción. Se pueden obtener las fibras de concreto reforzado a partir de diversos materiales y formas. Las fibras se emplean como un refuerzo secundario para reemplazar la malla electrosoldada. Actualmente se han elaborado diversos estudios del concreto reforzado con fibras y se han investigado fibras alternativas a las de acero. Las fibras de polipropileno y nylon se han utilizado para el control de grietas por contracción plástica y son ideales para aplicaciones en elementos prefabricados, losas de concreto, concreto lanzado, entre otros.

Se han utilizado con mayor frecuencia las fibras de polipropileno puesto que no generan corrosión como las fibras metálicas. Además, tiene una excelente dispersión en el concreto, reduce costos de colocación si se compara con la malla electrosoldada, su adición es fácil, mitiga la retracción y fisuración, retracción plástica, reduce la segregación y exudación. (MERLO CONSTRUCTION, 2017)

El concreto convencional es frágil. Agregar refuerzos de fibra a mezclas de concreto convencionales, aumenta la resistencia a tracción, aumenta la resistencia a la flexión y reduce la contracción plástica. El concreto reforzado con fibra también reduce la permeabilidad hidráulica y la exudación de agua de las mezclas de concreto. Además, el refuerzo de fibra aumenta la resistencia a la abrasión, el impacto y la resistencia al desgaste del concreto. La cantidad de fibra de refuerzo presente en una mezcla de concreto debe ser alrededor de 1-3% del volumen total de las mezclas. Si el volumen total de fibra excede la proporción máxima, las fibras pueden reducir la durabilidad del concreto en lugar de fortalecerlo. Por otro lado, es importante que los segmentos de fibra sean lo suficientemente cortos para evitar aglomeraciones en el proceso de mezclado. (MERLO CONSTRUCTION, 2017)

5.2 Clasificación de las fibras

5.2.1 Por material

Por material, las fibras se pueden clasificar en:

- Fibras metálicas (SFRC, por sus siglas en inglés, Steel Fiber Reinforced Concrete): son discretas secciones de metal, cuya relación de longitud y diámetro varía desde 20 hasta 100. Por lo general, son fibras de acero y con bajo contenido de carbón. Por lo general, tienen deformaciones a lo largo de la fibra o en sus extremos. Es favorable que la fibra presente dichas deformaciones en sus extremos puesto que aumenta la adherencia con el concreto. Las relaciones de aspecto típicas oscilan entre 20 y 100, mientras que las dimensiones de longitud oscilan entre 0.25 y 3 pulgadas. Tienen una resistencia y un módulo de elasticidad altos, están protegidas de la corrosión con el alcalino ambiente de la matriz de cemento. Sin embargo, en ambientes con temperatura alta, el uso de fibras de acero inoxidable es recomendable.
- Fibras sintéticas (SNFRC, por sus siglas en inglés, Synthetic Fiber Reinforced Concrete): secciones que se distribuyen aleatoriamente en el concreto y pueden estar compuestas de: acrílico, aramid, carbón, polipropileno, nylon y poliéster. La Figura 11 muestra las fibras utilizadas en este estudio, macrofibras de polipropileno. Se utilizaron dosis de 300 g, 375g y 450 g.

Fig. 11 Macrofibras de Polipropileno



Fuente: Elaboración propia

- Fibras de vidrio (GFRC, por sus siglas en inglés, Glass Fiber Reinforced Concrete): secciones discretas de fibra de vidrio resistentes al álcali.

- Fibras naturales (NFRC, por sus siglas en inglés, Natural fiber reinforced concrete): secciones discretas de origen natural, por ejemplo, coco, madera, caña de azúcar, yute, bambú, etc. Presentan un bajo módulo de elasticidad y una baja resistencia a temperaturas elevadas.
- Fibra de asbesto: consiste en silicatos cristalinos, entre ellos las serpentinas y anfíboles. Se caracterizan por su gran durabilidad. A nivel mundial, estas fibras están tratando de ser clausuradas ya que se ha descubierto que pueden provocar cáncer.

(Icontec, 2008).

5.2.2 Por funcionalidad, geometría y dosificación

Según su funcionalidad, geometría y dosificación, las fibras se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Microfibras: evitan la fisuración del concreto en las primeras horas de su colocación o mientras la mezcla permanece en estado plástico. Se utilizan dosificaciones extremadamente bajas, sin embargo, son muy eficientes ya que previenen la fisuración del concreto por retracción plástica. Contienen diámetros entre 0.023 mm a 0.050 mm. Por lo general, son fibras de plástico como polipropileno, polietileno y nylon.
- Macrofibras: previenen la fisuración del concreto en estado endurecido, reducen el ancho de la fisura y permiten un funcionamiento adecuado de la estructura fisurada. Las macrofibras más utilizadas son las metálicas, las de vidrio, las sintéticas y naturales. Actúan incrementando la tenacidad del concreto y agregando al material capacidad de carga posterior al agrietamiento. Su diámetro oscila entre 0.25mm y 1.5 mm, con longitudes variables entre 13mm y 70 mm. (Icontec, 2008).

5.3 Principales aplicaciones

Los concretos reforzados con fibras (Fiber Reinforced Concrete, FRC por sus siglas en inglés) se han utilizado en: pisos industriales, concreto lanzado, concretos resistentes a explosiones,

concretos de alta resistencia, concreto proyectado para el sostenimiento de túneles y taludes, estructuras a base de elementos de concreto prefabricado, entre otras muchas más aplicaciones.

5.3.1 Pisos y pavimentos

El concreto reforzado con fibras se emplea en pisos y pavimentos ya que puede reemplazar la malla electrosoldada que se emplea como refuerzo secundario en placas sobre el terreno. La malla electrosoldada es más eficiente en estado plástico que en estado fresco puesto que en estado fresco se presenta una fisuración desordenada antes de las 24 horas. En estado endurecido, existe una mejor transmisión de esfuerzos a lo largo de la sección del elemento. Las mallas empleadas como refuerzo secundario tienen algunas limitaciones en cuanto a que su colocación requiere tiempo y mano de obra. Además, su almacenamiento y transporte han sido una fuente de dificultades en las obras. Debido a las dificultades de colocación y eficiencia en el destino final de este refuerzo secundario, fue reemplazada por el concreto reforzado con fibras. (SIKA, 2014)

Los pavimentos y los pisos son estructuras muy susceptibles a fisurarse durante las primeras etapas de fraguado y endurecimiento. Generalmente, se utilizan las microfibras para pisos y pavimentos debido a su excelente forma de prevenir la fisuración antes de las 24 horas. Las microfibras dispersan millones de fibras dentro de la matriz del concreto y su objetivo es absorber los micro esfuerzos generados por retracción plástica e impedir que nazca o se propague la fisuración. (SIKA, 2014)

También se pueden utilizar las macrofibras en pisos y pavimentos, ya que previenen la aparición de fisuras del concreto en estado endurecido. Además, impiden el incremento del ancho de la fisura y permiten que la estructura continúe en servicio al aumentar su tenacidad, por lo que se multiplica la vida útil de la estructura. (SIKA, 2014).

5.3.2 Prefabricados

Para elementos prefabricados, cuyas dimensiones y espesores están optimizados, las fibras han sido un elemento común. Estos elementos son susceptibles a agrietamientos debido al transporte

y a su colocación. Las fibras, tanto las macrofibras como las microfibras resultan útiles debido a que reducen el agrietamiento de los elementos.

En el caso de elementos de bajas densidades, se han utilizado las microfibras para disminuir su fisuración en estado fresco y para disminuir la fragilidad del elemento haciéndolo más dúctil antes de que se produzca la falla. Se han utilizado con frecuencia las fibras de polipropileno, nylon, polietileno y metal en la producción de prefabricados, tanto en prefabricación pesada (pilotes, postes, vigas, etc) como en la prefabricación liviana (ladrillos y láminas). (SIKA, 2014)

5.3.3 Concreto lanzado

Utilizar fibras en el concreto lanzado, aumenta el rendimiento de la excavación y representa un ahorro en la cantidad de concreto lanzado debido a que pueden seguirse estrictamente los espesores del concreto colocado. El hecho de seguir estrictamente el perfil de la excavación sin preocuparse por cubrir la malla se convierte en un ahorro del material y en un ahorro de tiempo.

En la construcción de obras subterráneas como túneles, es de gran importancia disminuir la excavación al máximo y controlar los espesores. Las fibras que se han utilizado para el concreto lanzado son las macrofibras, ya se metálicas o sintéticas. En aplicaciones hidráulicas, las fibras sintéticas se han utilizado con mayor frecuencia ya que no se oxidan ni generan residuos de óxido que pueden manchar la superficie del concreto. (SIKA, 2014)

5.3.4 Concretos resistentes a explosiones

En aplicaciones de túneles, las microfibras de polipropileno han demostrado una ventaja frente a la resistencia al fuego. Los incendios en los túneles corresponden a una de las situaciones con mayor riesgo debido a la difícil renovación del aire y a la acumulación de calor. Las microfibras de polipropileno en dosificaciones de 1 kg/m³ de concreto han demostrado una disminución del descascaramiento explosivo de la superficie del concreto, debido a que a una temperatura de 160°C el material se funde y permite al vapor atrapado al interior del material salir al exterior disminuyendo las presiones que genera este vapor al interior del material.

Un concreto reforzado de la manera convencional cede fácilmente el concreto de recubrimiento frente a cargas explosivas debido a que su capacidad de deformación es muy limitada. Al contrario, un concreto reforzado con fibras, permite al material llegar a su máxima resistencia a la tensión y seguir deformándose sin que el elemento colapse. Además, incrementa la tenacidad del material para mejorar su resistencia en la fase post-fisuración. Los depósitos de explosivos son estructuras que pueden ser susceptibles a cargas de explosiones, por lo tanto, incorporan fibras al concreto para mejorar la resistencia al impacto del material. (SIKA, 2014)

5.3.5 Concretos de alta resistencia

Los concretos de alta resistencia o concretos de polvo reactivos son aquellos cuya resistencia se encuentra entre 1200 kg/cm² a 1800 kg/cm². Son concretos frágiles, con una capacidad de deformación baja, por lo que fallan súbitamente. El uso de las fibras en este tipo de concretos brinda una mayor ductilidad, eliminando la falla súbita. Las fibras que se emplean en este tipo de concretos tienen una longitud que oscila entre 4 mm y 15 mm. La dosificación es mayor a la que se utiliza en concretos convencionales, se utiliza n cuantías cercanas a 160 kg/m³. Las fibras mejoran el comportamiento del concreto a flexión, a compresión y a corte. (SIKA, 2014)

5.4 Dosificaciones

Al agregar al concreto fibras en pequeños volúmenes de acuerdo con una dosificación, se obtienen beneficios que no se encuentran en el concreto convencional. Las dosificaciones de las fibras de acero varían por lo general entre 15 y 25 kg/m³ para pisos convencionales y para pisos sin juntas se emplean dosificaciones mayores a 30 kg/m³. (SIKA, 2014).

En España se han empleado dosis de 40 kg/m³ en túneles de alta velocidad en el tramo Brazatortas - Córdoba, también se han utilizado dosificaciones de 60 kg/m³ en túneles de la Floresta, Barcelona. En Japón, se ha llegado a colocar una dosis de 80 kg/m³ de fibra para el sostenimiento de varios túneles y en Noruega se ha llegado a utilizar una dosis de 115 kg/m³ en un túnel carretero de Oslo. (Moreno & Fernández, 1997)

La dosificación en términos de peso varía de acuerdo a la densidad del material. La dosis de macrofibra de origen sintético varía entre 2 a 9 kg/m³. En este estudio se utilizaron las siguientes dosificaciones: 4 kg/m³, 5 kg/m³ y 6 kg/m³. Por el contrario, las microfibras se dosifican en el concreto para volúmenes entre 0.03% a 0.15% del mismo. Las microfibras más frecuentes son las de polipropileno y su dosificación en peso oscila entre 0.3 a 1.2 kg/m³. (SIKA, 2014).

Los concretos con fibras son capaces de absorber grandes cantidades de energía y para cuantías de dosificación muy altas, en donde la dosis es mayor que el 1% del volumen, se usan como disipadores sísmicos (columnas con más de 100 kg/m³ de fibras metálicas o más de 10 kg/m³ de fibras sintéticas) que pueden actuar como amortiguadores en bases de edificios. (SIKA,2014).

5.5 Influencia de las fibras en el concreto

Las fibras se emplean en aplicaciones donde sus dosificaciones mejoran las propiedades mecánicas del concreto, aumentan la tenacidad del material y reducen la tendencia a la fisuración en concreto fresco y a largas edades. La influencia de la fibra e el concreto varía depende del tipo de fibra utilizada. Las fibras de refuerzo de poliuretano dan al concreto mayor resistencia al impacto, una mayor cohesión, mejor trabajabilidad, mayor capacidad para disminuir el área de las grietas por contracción plástica, mayor capacidad para resistir mayores deformaciones. (MERLO CONSTRUCTION, 2017).

Las fibras brindan ductilidad en la fase post-agrietado, de lo contrario el concreto convencional fallaría de una manera frágil y repentina. La mejora de ductilidad depende del tipo y porcentaje de fibras agregadas. Las fibras metálicas mejoran la ductilidad del concreto bajo todos los modos de carga, pero su efectividad varía en compresión, tensión, torsión y compresión. En compresión, la fuerza se ve ligeramente afectada por la presencia de fibras. En tensión directa, la mejora de resistencia es significativa. Además, las fibras de acero incrementan la resistencia a la torsión y al corte. Además, las fibras aumentan la resistencia a la flexión, al impacto y a la fatiga por flexión. (MERLO CONSTRUCTION, 2017)

VI. GENERALIDADES DE LOS POLÍMEROS

6.1 ¿Qué es un polímero?

Un polímero es una estructura compleja formada por la repetición de una unidad molecular llamada monómero. Los monómeros son los pequeños eslabones que se repiten para formar un polímero mediante un proceso llamado “polimerización”. Existen los polímeros naturales y los sintéticos. Los naturales provienen directamente del reino vegetal o animal y consisten en celulosa, almidones, ADN y proteínas mientras que los sintéticos son los fabricados por el hombre. (Hermida, 2012)

6.2 Clasificación de los polímeros

Los polímeros se pueden clasificar según su comportamiento mecánico y según su estructura química, lo cual se detalla a continuación.

6.2.1 Clasificación según su comportamiento mecánico

6.2.1.1 Fibras

Son estructuras unidimensionales, largas y delgadas. Se pueden doblar con facilidad y su propósito principal es la creación de tejidos. Tienen una longitud muy superior a su diámetro y están orientadas a lo largo de un solo eje. Son más fuertes que los plásticos debido a su alta cohesión molecular. Existen tres tipos de fibras: naturales, celulósicas, no celulósicas.

Las fibras naturales provienen de origen natural o animal, se pueden dividir en: lana, mohair, seda, algodón, lino y yute. Las fibras celulósicas son fibras cuyas materias primas provienen de la naturaleza, pero han sido tratadas por el hombre, fueron las primeras fibras sintéticas. Entre ellas se encuentran: el rayón y las fibras de acetato. Las fibras no celulósicas son llamadas fibras sintéticas, se caracteriza porque sus propiedades químicas pueden ser modificables a la voluntad, como la resistencia y el brillo. La fibra no celulósica más utilizada es el nylon.

(Hermida, 2012)

6.2.1.2 Plásticos

Se refiere a una clase de materiales que pueden ser moldeados. Se caracteriza por su comportamiento mecánico en donde el material queda deformado una vez removido el esfuerzo mecánico aplicado (deformación permanente). Los plásticos son materiales importantes por sus propiedades, su bajo costo y sus ventajas, entre las que se pueden mencionar: la reducción de peso, reducción de ruido, su procesamiento garantiza buen acabado del producto final. Los plásticos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Polietileno de alta densidad (HPDE)

Es resistente al agua en ebullición y es opaco debido a su alta densidad. Además, es propenso a agrietarse bajo las tensiones del ambiente. Se utiliza para la fabricación de recipientes, tapas, cierres, utensilios domésticos, juguetes, tuberías y conductos.

- Polipropileno (PP)

Se fabrica en gran volumen debido a sus propiedades, es el plástico más ligero y cristalino. Su dureza y rigidez es mayor que la del polietileno, sin embargo, su resistencia al impacto es baja. Una de sus desventajas es que es susceptible a la degradación por luz, calor y oxígeno, por lo que es necesario añadirle un estabilizador ultravioleta.

- Resinas de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)

Es un copolímero inflamable, pero se le puede adicionar un retardante de llama. Entre sus propiedades resaltan que tiene un alto brillo y no se ralla, en la mayoría de casos se utiliza para refrigeradores, tuberías, teléfonos, entre otros. Es fácil de decorar, pintar, metalizar, cromar, etc.

- Nylon

Se utiliza principalmente como fibra. Entre sus propiedades se encuentran su resistencia a los disolventes, a los productos químicos y a la abrasión. Se utiliza en forma de cable y de alambre, también se puede utilizar para válvulas de aerosol, bobinas textiles y adhesivo para latas de metal. Es un producto costoso, por lo que se utiliza para dispositivos especializados.

- Fluoro plásticos

Existen diversos tipos, pero el más común es el PTFE. Se utiliza en aeroespaciales y computadoras debido a sus propiedades eléctricas y a su resistencia a la temperatura. Además, se utiliza en la elaboración de sellos metálicos y empaques.

- Cloruro de poli vinilideno (PVDC)

También se conoce como “Sarán”, se puede producir en forma de fibra y en forma de tubos. (Hermida, 2012)

6.2.1.3 Elastómeros

También se denominan como “cauchos” o “hules”, tienen un comportamiento térmico que puede variar de termoplástico a termorrígido. Se clasifica según su comportamiento mecánico, son materiales poliméricos que tienen la capacidad de deformarse mucho más que el 300% en forma elástica. Si se le aplica una fuerza se deforma, pero luego recupera sus dimensiones originales. Lo anterior se debe a que las largas cadenas poliméricas se encuentran enrolladas y cuando se aplica un esfuerzo para estirar la muestra, las cadenas lineales se desenredan. Cuando se libera el esfuerzo, las cadenas vuelven a enrollarse y el polímero regresa a su tamaño y forma original. (Hermida, 2012)

VII. FIBRA DE POLIPROPILENO

7.1 Propiedades de la fibra de polipropileno

Las fibras de polipropileno poseen excelentes propiedades físicas con valores de tenacidad similares a las del poliéster, además, la absorción de la humedad es extremadamente baja y su resistencia en húmedo y seco son iguales. Una de las mejores propiedades del polipropileno es su baja densidad, 90% más baja que las demás fibras textiles. (ACI Committe 544, 2002)

El principal inconveniente de las fibras de polipropileno reside en su bajo punto de fusión de 160°C y es por ello que los tejidos que contienen más de 30% de polipropileno no se deben exponer a temperaturas más elevadas de 125 °C, de lo contrario, el tejido se vuelve duro y se encoge. La fibra de polipropileno es hidrofóbica, por lo tanto, no es capaz de absorber agua. (ACI Committe 544, 2002)

7.2 Características mecánicas

- Resistencia a la tracción: 600-650MPa
- Módulo de elasticidad: 9.5 GPa
- Punto de fusión: 160 °C
- Gravedad específica: 0.90-0.92
- Debido a su baja gravedad específica, el polipropileno produce el mayor volumen de fibra para un peso dado. Por lo tanto, proporciona un buen volumen y cobertura.
- En relación con la conductividad térmica, retienen el calor por un período prolongado, y tienen excelentes propiedades aislantes.

7.3 Ventajas de las fibras de polipropileno

- Contiene una gravedad específica baja, es la fibra más liviana, incluso más liviana que el agua. Es un 34% más ligera que el poliéster y un 20% más liviana que el nylon.
- Contiene una alta rigidez.
- Resistencia de las fibras de polipropileno no se ve afectada por el agua.
- Controla y mitiga el agrietamiento por contracción plástica y reduce la segregación y la exudación del agua.

- Proporciona refuerzo tridimensional contra micro y macro agrietamiento.
- Aumenta la durabilidad, la resistencia a la fatiga y la tenacidad a flexión.
- Reducción del costo, ya que puede reemplazar la electromalla para control de grietas de temperatura/contracción.
- Facilidad para agregarla a la mezcla de concreto, en cualquier momento antes de la colocación.

7.4 Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto

- Aumento ligero en la resistencia a la flexión y del módulo de rotura a los 7 y 28 días.
- Incremento en la resistencia al impacto con una dosis de fibra alta.
- Aumento en la resistencia a la fatiga por flexión.
- Aumento en la tenacidad del concreto.
- Mejora en el comportamiento post-agrietamiento y mayor capacidad de absorción de energía del concreto.
- Capacidad de soportar cargas después de la fase de post-agrietamiento en vigas reforzadas con fibra de polipropileno. Además, tienen la capacidad de controlar el crecimiento de grietas después del agrietamiento. El contenido de fibra tiene una gran influencia en la capacidad de carga posterior a la fisuración.
- Capacidad para controlar el agrietamiento de contracción por secado.
- Disminución del tamaño de las grietas de contracción plástica.
- Distribución eficaz del agrietamiento inducido por contracción en concreto endurecido.

(ACI Committe 544, 2002)

VIII. NORMAS Y ENSAYOS APLICADOS

8.1 Normas y ensayos aplicados a la mezcla y a los ensayos

8.1.1 Norma COGUANOR NTG 41009 (ASTM D75) Práctica normativa para el muestreo de agregados

La norma COGUANOR NTG 41009 (ASTM D75) cubre el muestreo de agregados finos y gruesos para los siguientes propósitos: investigación preliminar en la fuente potencial de suministro, control del producto en la fuente de suministro, control de las operaciones en el sitio de uso y aceptación o rechazo de los materiales. (ASTM INTERNATIONAL, 2014).

8.1.1.1 Obtención de las muestras

Las muestras del producto terminado a ser ensayadas para pérdida por abrasión no deben ser sujetas a trituración o reducción en el tamaño de partículas en la preparación para el ensayo de abrasión. Además, el material debe inspeccionarse para determinar variaciones apreciables. (ASTM INTERNATIONAL, 2014).

8.1.1.2 Procedimiento

Muestreo de un flujo de descarga de agregados

Se seleccionan las unidades de producción a ser muestreadas por un método aleatorio. Se deben obtener tres porciones aproximadamente iguales, seleccionadas aleatoriamente de la unidad muestreada y se deben combinar para formar una sola muestra de campo. La masa mínima de la muestra depende del tamaño del agregado. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2010).

Muestreo de una banda transportadora

Se seleccionan las unidades de producción a ser muestreadas por un método aleatorio. Se deben obtener tres porciones aproximadamente iguales, seleccionadas aleatoriamente de la unidad muestreada y se deben combinar para formar una sola muestra de campo. Se debe parar la banda transportadora cuando se vayan a obtener las porciones de las muestras. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2010).

Muestreo desde una pila de almacenaje o unidad de transporte

Se debe evitar muestrear agregado de una pila de almacenamiento o de una unidad de transporte. En caso de que las circunstancias requieran muestrear de esta manera, se debe diseñar un plan de muestreo. Los principios para el muestreo de pilas aplican para el muestreo de camiones, vagones y otras unidades de transporte. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2010).

Muestreo en la carretera (bases y sub-bases)

Al igual que los muestreos anteriores, se deben seleccionar las unidades por un método aleatorio. se deben seleccionar tres porciones iguales y se deben combinar. Se debe tomar cada porción del material del espesor completo de la capa. Se debe marcar para qué áreas se removió cada porción. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2010).

8.1.2 Norma COGUANOR NTG- 41007 (ASTM C33/C33M). Especificación estándar de agregados para el concreto.

8.1.2.1 Objeto

Define los requisitos para granulometría y la calidad de los agregados finos y gruesos de densidad normal para utilizarlos en el concreto. Es equivalente a la norma COGUANOR NTG 41007 (ASTM C33).

8.1.2.2 Métodos de muestreo y ensayos

Los agregados se deben muestrear y ensayar de acuerdo con los siguientes métodos:

- Muestreo: COGUANOR NTG 41009 (ASTM D75) y ASTM D3665
- Granulometría y módulo de finura: COGUANOR NTG 41010 h1 (ASTM C136)
- Cantidad de material más fino que el tamiz No. 200: COGUANOR NTG 41010 h3 (ASTM C117)
- Impurezas orgánicas: COGUANOR NTG 41010 h4 (ASTM C40)
- Efecto de las impurezas orgánicas sobre la resistencia: ASTM C87
- Resistencia a la disgregación a los sulfatos: COGUANOR NTG 41010 h6 (ASTM C88)

- Terrones de arcilla y partículas friables: COGUANOR NTG 41010 h10 (ASTM C142)
- Material de baja densidad: COGUANOR NTG 41010 h7 (ASTM C123)
- Densidad aparente del agregado y escoria: COGUANOR NTG 41010 h2 (ASTM C29)
- Abrasión de agregado grueso: COGUANOR NTG 41010 h21 (ASTM C535)
- Congelamiento y deshielo: ASTM C666
- Horsteno: COGUANOR NTG 41010 h7 (ASTM C123) para identificar una muestra de agregado grueso y COGUANOR NTG 41088 (ASTM C295) para identificar las partículas que son horsteno.

(Comisión Guatemalteca de Normas, 2010).

8.1.3 COGUANOR NTG 41095 (ASTM C1157). Especificaciones por desempeño de cementos hidráulicos.

8.1.3.1 Objeto

Esta norma abarca los cementos hidráulicos de aplicación general y de aplicaciones especiales, los cementos de fabricación nacional e importados. Se clasifican los cementos por tipo en base a los requisitos de utilización, de resistencia inicial y de resistencia al ataque de sulfatos y calor de hidratación.

8.1.3.2 Clasificación y uso

- UGC- Cemento hidráulico para uso general en la construcción: Se utiliza en toda clase de obras, ya sea pequeñas, medianas o grandes siempre y cuando no se requieran otros tipos de cementos con propiedades especiales. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2012)
- TIPO ARI- Alta resistencia inicial: Se utiliza para obras especiales de concreto simple reforzado y preesforzado de endurecimiento rápido y altas resistencias iniciales. También se utiliza para la prefabricación liviana y de elementos estructurales y en situaciones donde ese requiere un desencofrado y desmoldado rápido. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2012)

- TIPO DLR- Desarrollo lento de resistencia: Se utiliza para la estabilización de suelos, concreto compactado con rodillo para pavimentos y presas. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2012)
- TIPO MRS- MODERADA RESISTENCIA A LOS SULFATOS: Se utiliza para concretos en aguas y terrenos que contienen sulfatos, para concretos en aguas marinas y expuestos a concentraciones moderadas de sulfatos de calcio, sodio y magnesio. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2012)
- TIPO ARS- ALTA RESISTENCIA A LOS SULFATOS: Se utiliza en concretos y aguas que contienen sulfatos, para concretos en aguas marinas y expuestos a concentraciones moderadas de sulfatos de calcio, sodio y magnesio. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2012)
- TIPO MCH- MODERADO CALOR DE HIDRATACIÓN: Se utiliza para obras de concreto masivo susceptibles de fuertes retracciones por variaciones térmicas y peligro de fisuración (presas, estribos, cimentaciones, muros gruesos y grandes losas). (Comisión Guatemalteca de Normas, 2012)
- TIPO BCH- BAJO CALOR DE HIDRATACIÓN: Se utiliza cuando el concreto debe desarrollar poco calor a partir de la hidratación del cemento, por ejemplo, para presas de concreto, bases de grandes dimensiones y otras construcciones masivas. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2012)

8.1.3.3 Propiedades físicas

El Cuadro 3 establece los requisitos con los que debe cumplir cada tipo de cemento.

Cuadro 3. Requisitos de cada tipo de cemento.

	Método de ensayo	Tipos de cemento						
		UGC (A)	ARI (A)	DLR (A)	MRS (A)	ARS (A)	MCH (A)	BCH (A)
Finura	C430 C204 C151							
Expansión en autoclave, cambio de longitud en porcentaje, (%) máximo	C151	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Expansión Le Chatelier, en milímetros ^B	EN 196-3	10	10	10	10	10	10	10
Tiempo de fraguado Vicat ^C en minutos Inicial, no menor que Inicial, no mayor que	C191	45 420	45 420	45 420	45 420	45 420	45 420	45 420
Contenido de aire en el mortero, en porcentaje	C185	(D)	(D)	(D)	(D)	(D)	(D)	(D)
Resistencia, a compresión mínima en MPa, (psi) ^E	C109/C109M							
1 día		--	12 (1740)	--	--	--	--	--
3 días		13 (1890)	24 (3480)	--	11 (1600)	11 (1600)	5 (725)	--
7 días		20 (2900)	--	--	18 (2610)	18 (2610)	11 (1600)	11 (1600)
28 días		28 (4060)	--	11 (1600)	--	25 (3620)	--	21 (3050)
90 días		--	--	18 (2610)	--	--	--	--
Calor de hidratación, máximo 7 días, kJ/kg (kcal/kg)	C186	--	--	--	--	--	290 (70)	250 (60)
28 días kJ/kg (kcal/kg)		--	--	--	--	--	--	290 (70)
Expansión de la barra de mortero, % máximo 14 días	C 1038	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
Expansión a los sulfatos (resistencia a los sulfatos) ^F	C 1012							
6 meses, % máximo		--	--	--	0.10	0.05	--	--
1 año, % máximo		--	--	--	--	0.10	--	--

Fuente: Cementos hidráulicos. Especificaciones por desempeño. (p.7) por COGUANOR. 2010., Guatemala.

8.1.4 ACI 211.1. Práctica estándar para seleccionar proporciones para concreto de peso normal, pesado y masivo.

8.1.4.1 Objeto

Determinar la combinación de los materiales con los que dispone para producir un concreto que satisfaga los requisitos de comportamiento bajo las condiciones particulares de uso. Dosificar los agregados, el cemento y el agua para concreto de peso normal, pesado y masivo. Se deben dosificar los componentes de manera que el concreto producido tenga una resistencia promedio a compresión mayor a $f'c$. (ACI Committee 211, 2002)

8.1.4.2 Procedimiento

8.1.4.2.1 Elección del asentamiento

El asentamiento, según COGUANOR NTG 41052 (ASTM C143), se obtiene al medir el hundimiento de una pila de concreto fresco en forma de cono truncado de concreto fresco. Para

esta prueba se utiliza un molde metálico llamado “Cono de Abrams”, debe tener las siguientes medidas: 30 cm de altura, 10 cm en su base superior y 20 cm en su base de apoyo. La Figura 12 muestra el procedimiento para la obtención del asentamiento. Se utiliza el siguiente cuadro para determinar el asentamiento, en base al tipo de construcción. (ACI Committee 211, 2002)

Cuadro 4. Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción

Tabla 9-6. Revenimientos Recomendados para Varios Tipos de Construcción

Construcción de Concreto	Revenimiento mm (pulg.)	
	Máximo*	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	75 (3)	25 (1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Concreto masivo	75 (3)	25 (1)

*Se puede aumentar 25 mm (1 pulg.) para los métodos de consolidación manuales, tales como varillado o picado.
Los plastificantes pueden proveer revenimientos mayores.

Fuente: ACI Committee. (2002). Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91) . Nevada : American Concrete Institute .

Fig. 12. Obtención del asentamiento



Fuente: Elaboración propia

8.1.4.2.2 Elección del tamaño máximo del agregado

Tamaños grandes de agregados graduados adecuadamente, contienen menos huecos que los agregados de menor tamaño. Por lo tanto, concretos con agregados de mayor tamaño requieren una menor cantidad de mortero por unidad de volumen de concreto. El tamaño máximo no debe exceder: 1/5 de la separación menor entre los lados de la formaleta, 3/4 del espacio libre entre las barras de acero de refuerzo y entre las varillas de refuerzo y las cimbras y 1/3 de la profundidad de las losas. (ACI Committee 211, 2002)

8.1.4.2.3 Cálculo del agua de mezclado y contenido de aire

La cantidad requerida de agua de mezclado depende del tamaño máximo del agregado, de la forma de las partículas, de la granulometría de los agregado, de la temperatura del concreto, del asentamiento y del aire inducido en el concreto. El valor se puede obtener mediante el siguiente cuadro. (ACI Committee 211, 2002)

Cuadro 5. Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire

Revenimiento (asentamiento) (mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado indicados*							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm**	75 mm**	150 mm**
Concreto sin aire incluido								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	—
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	—
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje†								
Exposición leve	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Fuente: CI Committee. (2002). Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91) . Nevada : American Concrete Institute .

8.1.4.2.3 Selección de la relación agua-cemento

Se determina mediante requisitos de resistencia y durabilidad. Previo a la selección de la relación A/C, se debe definir la resistencia a la compresión (f'_c) que debe cumplir el concreto. Para condiciones de exposición severa, la relación A/C debe mantenerse baja, aunque la resistencia

resulte excedida. Se debe utilizar el siguiente cuadro para determinar la relación A/C en base a la resistencia a compresión a los 20 días. (ACI Committee 211, 2002)

Cuadro 6. Relación agua/Cemento y resistencia a compresión

Resistencia a Compresión a los 28 days, lb/pulg ²	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
7000	0.33	—
6000	0.41	0.32
5000	0.48	0.40
4000	0.57	0.48
3000	0.68	0.59
2000	0.82	0.74

La resistencia se basa en cilindros sometidos al curado húmedo durante 28 días, de acuerdo con la ASTM C 31 (AASHTO T 23). La dependencia asume el agregado con un tamaño máximo nominal de ¾ a 1 pulg.

Fuente: CI Committee. (2002). Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91) . Nevada : American Concrete Institute .

Una vez determinada la relación A/C, se debe calcular el contenido de cemento, al dividir la cantidad de agua requerida dentro de la relación A/C.

8.1.4.2.4 Estimación del contenido de agregado fino

A continuación, se debe determinar el contenido agregado grueso y fino. Para determinar la cantidad de agregado grueso, se utiliza el Cuadro 7 Para colados con bomba, se recomienda reducir el volumen de agregado recomendado hasta 10%. Para concretos menos trabajables, como por ejemplo, los requeridos para la construcción de pavimentos se pueden incrementar un 10%. (ACI Committee 211, 2002)

Cuadro 7. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto

Tabla 9-4. Volumen de Agregado Grueso por Volumen Unitario de Concreto

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg.)	Volumen del agregado grueso varillado (compactado) en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino*			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (¾)	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (½)	0.59	0.57	0.55	0.53
19.00 (¾)	0.66	0.64	0.62	0.60
25.00 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1½)	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3)	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: CI Committee. (2002). Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91) . Nevada : American Concrete Institute .

La cantidad de agregado fino se puede determinar mediante diferencia de volúmenes absolutos.

8.1.4.2.5 Ajustes por humedad del agregado

La variación se produce por un cambio de la densidad de los agregados, fallas en el equipo de pesaje, no efectuar la corrección por humedad de los agregados, entre otros. Se deben obtener los pesos húmedos de los agregados y se debe corregir cada uno de ellos, en base al porcentaje de humedad. A continuación, se debe ajustar el peso del agua mediante la humedad de los agregados. (ACI Committee 211, 2002)

8.1.5 COGUANOR NTG 41060 (ASTM C192). Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio.

8.1.5.1 Objeto

Establece los procedimientos para preparar y curar especímenes de concreto para ensayo de laboratorio bajo un control preciso de materiales y condiciones de ensayo. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2012).

8.1.5.2 Equipo

Los moldes que están en contacto con el concreto deben ser hechos de acero, hierro fundido o cualquier otro material no absorbente, no reactivo con el concreto que contenga cemento Portland u otros cementos hidráulicos.

Moldes horizontales cilíndricos de ensayo de flujo plástico

Estos moldes se utilizan sólo para especímenes de flujo plástico. Dichos cilindros deben tener una ranura de llenado paralela al eje del molde que se extienda en toda la longitud del mismo. El ancho de la ranura debe ser la mitad del diámetro del espécimen. Los moldes deben tener dos placas de metal pulidas en sus extremos, al menos de 1 pulg de espesor y las superficies de trabajo deben cumplir con los requisitos de planicidad y rugosidad de la práctica C 617. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2012).

Moldes de viga y prismáticos

Deben de tener una forma rectangular y de las dimensiones requeridas para producir el tamaño de espécimen deseado. La superficie interior del molde debe ser lisa y estar libre de irregularidades. Los lados del fondo y los extremos deben estar rectos y alineados, libres de alabeo.

La variación máxima de la sección transversal nominal no debe exceder 3 mm para moldes de espesor de 150 mm o más o 2 mm para moldes de menor espesor. Los moldes para especímenes para flexión no deben variar más de 2 mm de la longitud nominal, además, no deben ser más cortos que 2 mm de la longitud requerida. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2012).

Varillas compactadoras

Deben ser varillas de acero cilíndricas, rectas, con el extremo para apisonar redondeado en una punta semiesférica del mismo diámetro de la varilla. Se especifican las siguientes medidas:

- Varilla larga: 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud.
- Varilla corta: 10 mm de diámetro y 300 mm de longitud.
- Mazo: con cabeza de hule o cuero crudo de 1.25 ± 0.50 lb de peso.

Vibradores internos

La frecuencia debe ser como mínimo de 115 Hz al estar operando en el concreto. El diámetro del vibrador no debe ser mayor que $\frac{1}{4}$ del diámetro del molde cilíndrico o del molde prismático.

Vibradores externos

Los vibradores permitidos son de mesa o tablón, su frecuencia debe ser de 60 Hz como mínimo.

Aparatos para medir asentamiento

Deben cumplir con los requisitos del método de ensayo COGUANOR NTG 41052 (ASTM C 143/ C143M)

Equipo de tamizado en húmedo

Debe cumplir con los requerimientos de la práctica COGUANOR NTG 41057 (ASTM C172)

Aparato de contenido de Aire

Debe cumplir con los métodos de ensayo COGUANOR NTG 41017 h7 (ASTM C231) o COGUANOR NTG 41017 h6 (ASTM C173)

Dispositivo para medición de temperatura

Debe cumplir con los métodos de ensayo COGUANOR NTG 41053 (ASTM C1064)

Mezcladora del concreto

Si es motorizada, debe ser de tambor giratorio, capaz de mezclar completamente las amasadas de las cantidades requeridas, al asentamiento requerido.

(Comisión Guatemalteca de Normas, 2012).

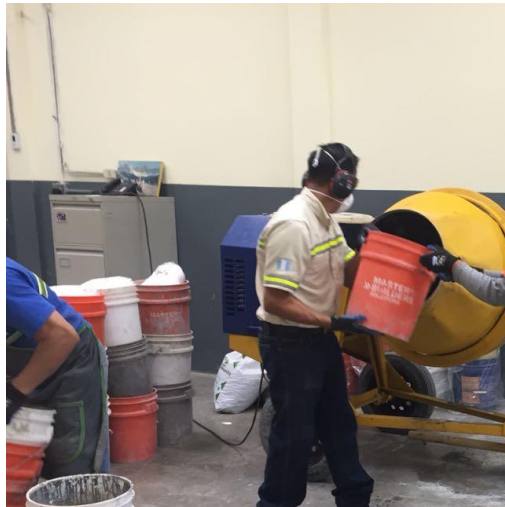
8.1.5.3 Procedimiento

Mezclado del concreto

- Mezclado a máquina

Previo a iniciar la rotación de la mezcladora, se debe adicionar el agregado grueso, parte del agua de mezclado y la solución de aditivo. Si el aditivo es líquido, se debe dispersar en el agua de mezclado antes de agregarlo. Encender la mezcladora y adicionar el agregado fino, cemento y agua con la mezcladora funcionando. Se debe mezclar el concreto durante 3 minutos, después que todos los componentes estén dentro de la mezcladora, luego se deja en reposo durante 3 minutos y finalmente se mezcla por 2 minutos. Se debe cubrir el extremo abierto de la mezcladora para prevenir evaporación en el período de reposo.

Fig. 13 Introducción del agregado para mezclado



Fuente: Elaboración propia

Elaboración de los especímenes:

Se deben moldear los especímenes lo más cerca posible del lugar donde van a ser almacenados las primeras 24 horas. Se debe colocar el concreto en los moldes con un cucharón, una cuchara de albañil despuntada o una pala. Se debe distribuir el concreto utilizando una varilla

compactadora previo al inicio de la consolidación. Los especímenes se deben elaborar en capas según el Cuadro 8. Entre cada capa debe haber una consolidación, ya sea por varillado o por vibración interna o externa. El número de varilladas se encuentra en el Cuadro 9.

Cuadro 8. Número de capas requeridas para los especímenes

Tabla 1 Número de Capas requeridas para los especímenes

Tipo y tamaño de espécimen	Modo de Consolidación	Número de capas aproximadamente igual espesor
Cilindros		
Diámetro, pulg. [mm]		
3 ó 4 [75 hasta 100]	Varillado	2
6 [150]	Varillado	3
9 [225]	Varillado	4
hasta 9 [225]	Vibración	2
Prismas y cilindros horizontales de flujo plástico:		
Espesor, pulg. [mm]		
hasta 8 [200]	Varillado	2
más de 8 [200]	Varillado	3 ó más
hasta 8 [200]	Vibración	1
más de 8 [200]	Vibración	2 ó más

Fuente Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio.

. (p.17) por COGUANOR. 2010., Guatemala.

Cuadro 9. Diámetro de varilla y número de golpes por capa

Cilindros		
Diámetro de cilindro, in. [mm]	Diámetro de varilla in. [mm]	Número de golpes/Capa
3 [75] hasta < 6 [150]	3/8 [10]	25
6 [150]	5/8 [16]	25
8 [200]	5/8 [16]	50
10 [250]	5/8 [16]	75
Vigas y Prismas		
Área de la Superficie Superior del Especimen in. ² [cm ²]	Diámetro de Varilla in. [mm]	Número de golpes/Capas
25 [160] o menos	3/8 [10]	25
26 a 49 [165 a 310]	3/8 [10]	Uno por cada 1 in. ² [7 cm ²] de superficie
50 [320] o más	5/8 [6]	Uno por cada 2 in. ² [14 cm ²] de superficie
Cilindros de flujo Plástico Horizontales		
Diámetro de cilindro in. [mm]	Diámetro de Varilla in. [mm]	Número de golpes/capa
6 [150]	5/8 [6]	50 en total, 25 a lo largo de ambos lados de del eje

Fuente: Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio.

. (p.18) por COGUANOR. 2010., Guatemala.

Curado

Se deben retirar los especímenes de los moldes 24 ± 8 h después de ser moldeados. Para concreto con tiempo de fraguado prolongado, los moldes no deben ser retirados hasta 20 ± 4 h. después del fraguado final. Todos los especímenes deben ser curados en húmedo, a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ desde el tiempo del moldeo hasta el momento del ensayo. El curado húmedo significa que los especímenes de ensayo deben mantener agua libre sobre su superficie completa en todo momento. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2012).

Para el curado en húmedo se utilizan tanques de agua de almacenamiento o un cuarto húmedo de acuerdo con la norma COGUANOR NTG 41059 (ASTM C511). Curar los cilindros de concreto liviano estructural de acuerdo con la norma COGUANOR NTG 41065 (ASTM C330). Para el curado de especímenes de ensayo para resistencia a la flexión, los especímenes deben estar sumergidos en agua, saturada con hidróxido de calcio a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por un período mínimo de 20 horas, inmediatamente después de su ensayo. Al final del período de curado, se retira el espécimen y se debe evitar el secado de las superficies de los especímenes hasta que se ensaye. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2012).

8.1.6 COGUANOR NTG 41017-h2 (ASTM C78). Método de ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto

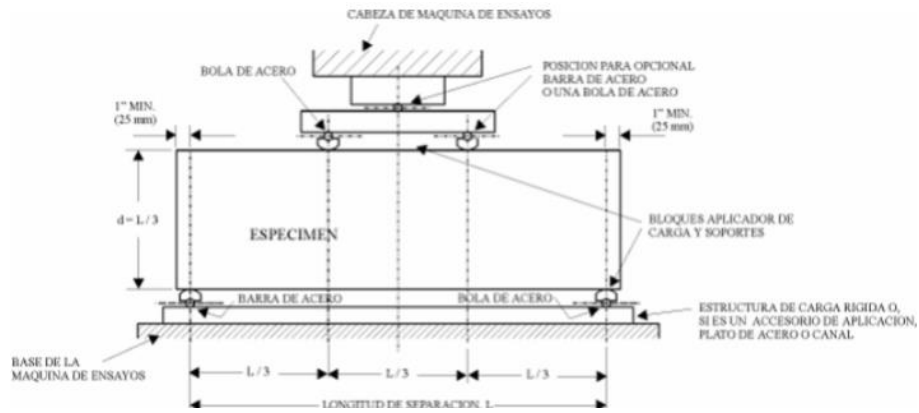
8.1.6.1 Objeto

Esta norma establece el método de ensayo para la determinación del esfuerzo a flexión del concreto utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz.

8.1.6.2 Equipo

La máquina de ensayo debe cumplir con bases de verificación, correcciones e intervalos de tiempo entre verificaciones. Máquinas de ensayo manuales no son permitidas, únicamente las que poseen bombas que proveen una carga continua a la falla en una sola aplicación. El método de carga se realiza en los tercios de la luz. Los bloques aplicadores de carga y los bloques soportes no deben tener más de 64 mm de altura, medido desde el centro y debe extenderse más allá del ancho total del espécimen. Las Figuras 14 y 15 muestran el aparato apropiado para el ensayo a flexión del concreto por el método de carga en los tercios de la luz.

Fig. 14. Vista diagramática para ensayo a Flexión del concreto



Fuente: Método de ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto (utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz). (p.7) por COGUANOR. 2010., Guatemala.

Fig. 15. Aparato para ensayo a flexión



Fuente: Elaboración propia

8.1.6.3 Especímenes de ensayo

Los especímenes deben tener una separación de apoyos dentro del 2% de tres veces su espesor. Todos los lados del espécimen deben formar un ángulo recto con la parte superior e inferior. Además, todas las superficies deben ser lisas y libres de concavidades.

8.1.6.4 Procedimiento

El ensayo a flexión del concreto se realiza utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz. La relación de la distancia horizontal entre el punto de aplicación de carga y el punto de aplicación de la reacción más cercana, al espesor de la viga no debe ser de 1.0 ± 0.03 . Los ensayos de flexión de los especímenes curados en húmedo deben ser realizados tan pronto como sea posible después de ser removidos del almacenamiento húmedo. El secado de las superficies del espécimen puede producir una reducción en la medida del esfuerzo de flexión. Si se utilizan vigas moldeadas, se deben girar sobre su lado con respecto a su posición donde fue moldeado y centrarlo en los bloques de soporte. Se debe cargar el espécimen uniformemente y sin sacudidas. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2011). La Figura 16 muestra el trazo de las viga para posicionarla simplemente soportada en el equipo, con cargas en los tercios de la luz.

Fig. 16. Trazo de las vigas



Fuente: Elaboración propia

La carga debe ser aplicada a una velocidad constante hasta que la ruptura ocurra. La velocidad de carga se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$r = 2 * S * b * d^2 / L \quad (5)$$

En donde,

r= velocidad de carga (lb/min)

S=Velocidad de incremento del esfuerzo en la fibra extrema, (entre 0.86 MPa/min y 1.21 Mpa/min.

b= ancho promedio del espécimen (mm)

d= espesor promedio del espécimen (mm)

L= longitud de la separación de apoyos (mm)

8.1.6.5 Cálculos

Para determinar las dimensiones de la sección del espécimen a utilizar en el cálculo del módulo de ruptura, tomar medidas a través de una de las caras fracturadas del ensayo. Se deben tomar 3 medidas a cada extremo y al centro de la sección transversal. El módulo de ruptura se calcula dependiendo si la fractura se inicia en la superficie de tensión dentro o fuera del tercio medio de la luz. Si falla dentro del tercio medio de la luz se calcula de la siguiente manera.

$$R = \frac{P*L}{b*d^2} \quad (6)$$

En donde,

R= Módulo de ruptura (MPa o Psi)

P= carga máxima aplicada por la máquina de ensayo (N o lbf)

L= Longitud de la separación de apoyos. (mm)

b= ancho promedio del espécimen, en fractura (mm).

d= espesor promedio del espécimen, en la fractura (mm)

Si la fractura ocurre en la sección de tensión fuera del tercio medio de la luz, entre apoyos por no más de 5% de la luz, el módulo de ruptura se calcula de la siguiente manera.

$$R = \frac{3*P*a}{b*d^2} \quad (7)$$

En donde,

R= Módulo de ruptura (MPa o Psi)

P= carga máxima aplicada por la máquina de ensayo (N o lbf)

a= distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano medido en la superficie de tensión de la viga (mm)

b= ancho promedio del espécimen, en fractura (mm).

d= espesor promedio del espécimen, en la fractura (mm)

Si la fractura ocurre en la sección de tensión fuera del tercio medio de la luz, entre apoyos por más de 5% de la misma, descartar los resultados del ensayo. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2011).

8.1.7 ASTM C1609. Método de prueba estándar para el rendimiento a flexión del concreto reforzado con fibra.

8.1.7.1 Uso

Este método de prueba evalúa el rendimiento a flexión del concreto reforzado con fibra, mediante parámetros derivados de la curva carga-deflexión, obtenida al ensayar una viga simplemente soportada mediante el método de carga en los tercios de la luz. Este ensayo proporciona la determinación de la carga del primer pico y cargas de pico, Además, determina la carga residual a cierta deflexión, correspondiente a los esfuerzos residuales.

Este método utiliza especímenes de los siguientes tamaños: 100mm x 100mm x 350 mm, ensayado en una luz de 300mm o especímenes de 150 mm x 150 mm x 500 mm ensayado en una luz de 450 mm.

8.1.7.2 Equipo

La máquina de prueba debe medir la deflexión y debe ser capaz de aplicar carga la muestra sin excentricidad o torque. Los dispositivos para medir deflexión deben ubicarse de una manera que garanticen una determinación precisa de la deflexión, excluyendo los efectos de torsión en la muestra en sus soportes. Dichos dispositivos se pueden observar en la Figura 17. Dos transductores de desplazamiento electrónico se deben montar a la mitad de la viga, uno de cada lado. Éstos miden la deflexión a través del contacto con los soportes apropiados unidos a la muestra. El promedio de las medidas representa la deflexión neta.

Fig. 17. Transductores de desplazamiento



Fuente: Elaboración propia

8.1.7.3 Procedimiento

En primer lugar, se deben medir las dimensiones del espécimen antes de llevar a cabo la prueba. A continuación, se debe montar el marco con transductores en la muestra. Al posicionar los transductores, es necesario percatarse que haya suficiente recorrido para poder registrar la deflexión de la muestra en el punto medio. El equipo debe tener un trazador X-Y acoplado directamente a salidas electrónicas de carga y deflexión para obtener la curva de carga vs deflexión. Finalmente, se debe iniciar la prueba a las velocidades de deflexión neta especificadas (según la longitud de la viga). Se debe operar la máquina de modo que la deflexión neta de la muestra aumente a una velocidad constante de acuerdo con el Cuadro 10.

Cuadro 10. Tasa de aumento en la deflexión neta.

Beam size ^A	Up to net deflection of L/900	Beyond net deflection of L/900
100 by 100 by 350 mm [4 by 4 by 14 in.]	0.025 to 0.075 mm/min [0.001 to 0.003 in./min]	0.05 to 0.20 mm/min [0.002 to 0.008 in./min]
150 by 150 by 500 mm [6 by 6 by 20 in.]	0.035 to 0.10 mm/min [0.0015 to 0.004 in./min]	0.05 to 0.30 mm/min [0.002 to 0.012 in./min]

Fuente: STM C1609 / C1609M-12, Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012

8.1.7.4 Cálculos

- Se debe determinar la carga del primer pico como el valor de la carga correspondiente al primer punto en la curva carga- deflexión, donde la pendiente es igual a cero.
- Calcular la resistencia del primer pico utilizando la carga del primer pico determinada anteriormente. Se calcula con la siguiente fórmula.

$$f = \frac{PL}{bd^2} \quad (8)$$

En donde,

f= fuerza, MPA [psi],

P = la carga, N [lbf],

L = la longitud del tramo, mm [in.],

b= el ancho promedio de la muestra después de la fractura, mm [in.],

d = la profundidad promedio de la muestra en la fractura, mm [in.].

- Determinar el valor de deflexión de primer pico δ_1 mediante la siguiente expresión:

$$\delta_1 = \frac{23*P_1*L^3}{1296*E*I} * \left[1 + \frac{216*d^2*(1+\mu)}{115*L^2} \right] \quad (9)$$

En donde,

δ_1 = deflexión en el primer pico, mm[in.],

P_1 = carga de primer pico, N [lbf],

L = longitud de apoyos, mm[in.],

E = módulo de elasticidad del concreto, MPa [psi],

I = momento de inercia mm^4 [in^4],

d = espesor del espécimen al momento de la fractura, mm [in],

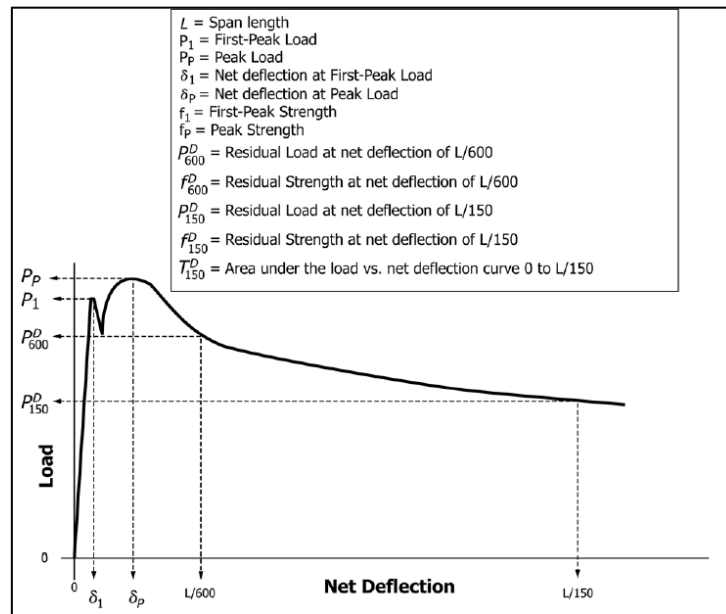
μ = radio de Poisson

- Determinar los valores de carga residual, P_{600}^D y P_{150}^D correspondientes a los valores de deflexión de 1/600 y 1/150 de la longitud del tramo.
- Calcular las resistencias residuales, f_{600}^D y f_{150}^D , utilizando las cargas residuales determinadas anteriormente.
- Calcular el área total bajo la curva de carga-deflexión hasta una deflexión neta de 1/150 de la longitud del tramo. Registrar el número redondeado al Joule más cercano.
- Calcule la relación de resistencia a la flexión equivalente, $R_{T, 150}^D$, de acuerdo con la siguiente ecuación, utilizando la resistencia del primer pico calculada anteriormente y la tenacidad determinada. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$R_{T, 150}^D = \frac{150*T_{150}^D}{f*b*d^2} * 100\% \quad (10)$$

La Figura 18 muestra un ejemplo de cálculos de los parámetros mencionados anteriormente.

Fig. 18. Gráfico carga-deflexión



Fuente: STM C1609 / C1609M-12, Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012

IX. OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE DATOS

9.1 Equipo y materiales

9.1.1 Equipo

9.1.1.1 Máquina universal

Se utilizó una máquina universal para ensayar, a compresión, los cilindros elaborados con fibras.

Fig. 19. Compresora Universal Controls



Fuente: Elaboración propia

9.1.1.2 Equipo de tenacidad

Se utilizó el equipo de tenacidad, que es un aditamento especial que se adapta al equipo de flexión, para determinar la tenacidad de las vigas reforzadas con macrofibra de polipropileno.

Fig. 20. Equipo de tenacidad



Fuente: Elaboración propia

9.1.1.3 Equipo de flexión

Se utilizó el equipo de flexión para determinar el módulo de rotura del concreto reforzado con fibras. Se utiliza en conjunto con el equipo de tenacidad y sus aditamentos.

9.1.2 Materiales

9.1.2.1 Cemento

Se utilizó un cemento CFB, el cual se fabrica bajo la norma COGUANOR NTG 41095 (ASTM C1157-09), en la planta de Cementos Progreso. Este cemento pertenece a una categoría de alta resistencia inicial, con una resistencia mínima a los tres días, de 3,460 psi. La resistencia mínima a compresión es de 5,000 psi a los 28 días. Se utiliza para fabricación de blocks de concreto liviano y normal, adoquines, prefabricados estructurales, postes de concreto para alumbrado, prefabricados de concreto, blocks, entre otros.

Fig. 21. Cemento CFB



Fuente: Cementos Progreso

9.1.2.2 Agregados

Se emplearon los siguientes agregados: pedrín 1'', pedrín 3/8'' y arena de 0- 1/4'', los cuales provienen de AGRECA (Agregados de Centroamérica).

Fig. 22. Agregados empleados

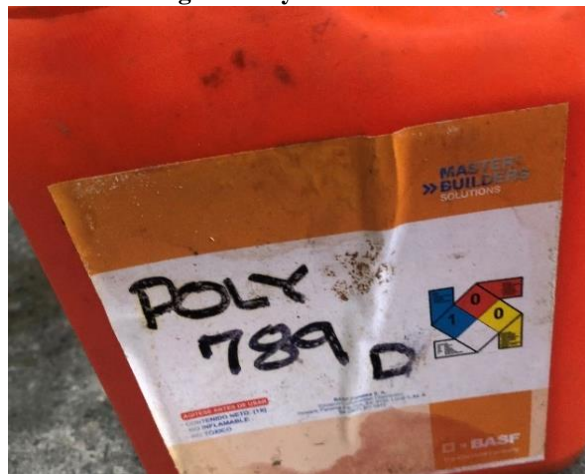


Fuente: Elaboración propia

9.1.2.3 Aditivos

MasterPolyheed 789. Aditivo reductor de agua de medio rango y retardante: es un aditivo líquido, reductor de agua en un 12 al 20%, además, reduce la segregación en concretos de altos asentamientos y mejora las características de trabajabilidad, bombeado y acabado en mezclas de concreto con bajas cantidades de material cementante. Cumple con los requisitos de la norma COGUANOR NTG 41070 (ASTM C-494) tipo B y D. Sus características técnicas se pueden encontrar en el anexo de materiales. Se puede observar en la Figura 23.

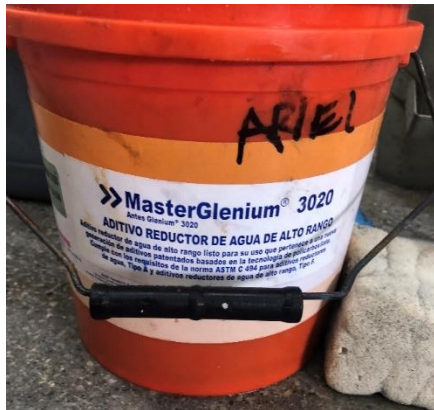
Fig. 23. Polyheed 789



Fuente: Elaboración propia

MasterGlenium 3020. Aditivo reductor de agua de alto rango. Se empleó únicamente en las vigas con dosificación de fibra para producir un concreto con un asentamiento entre 4 y 5 pulgadas. Se utiliza en concretos que requieran una alta fluidez y mayor durabilidad, en concretos que requieran una reducción de agua de 15 a 40%, entre otros. Cumple con los requisitos de la norma COGUANOR NTG 41070 (ASTM C494) para aditivos reductores de agua tipo A y aditivos de alto rango, tipo F. Sus especificaciones técnicas se pueden encontrar en la sección de anexos de materiales.

Fig. 24. Master Glenium, 3020



Fuente: Elaboración propia

9.1.2.4. Fibras

Se emplearon macrofibras de polipropileno del fabricante EUCLID, comercializadas con el nombre “TUF-STRAND SF”. Dichas fibras cumplen con la norma ASTM C1116, especificación estándar para concreto reforzado con fibra. Su dosificación varía entre 1.8 kg/m³ y 12 kg/m³. Se utilizaron fibras con un largo de 2 pulgadas. Sus especificaciones técnicas se pueden encontrar en el anexo de materiales.

9.2 Dosificaciones y diseño de la mezcla

Al elaborar las vigas, los materiales deben estar en óptimas condiciones para obtener un concreto con una resistencia semejante entre vigas elaboradas con el mismo concreto. El contenido de humedad en los agregados puede afectar la resistencia ya que afecta la relación agua/cemento. Los agregados fueron sometidos a prueba de porcentaje de humedad para corregir los pesos. Para dicha corrección se debe obtener el porcentaje de humedad, el cual se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} * 100 \quad (11)$$

El Cuadro 11 muestra las dosificaciones de cemento, agua, aditivos, agregados y agua que se emplearon en la elaboración de vigas y cilindros. Como ya se mencionó anteriormente, se realizó la corrección por humedad de los agregados, la cual se puede observar en el Cuadro 12. Cabe mencionar que se utilizó un volumen de bachada de 0.075 m³.

Cuadro 11. Dosificaciones empleadas

		Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4
		Control	4 kg/m ³	5 kg/m ³	6 kg/m ³
Corrección por humedad	Cemento (kg/m ³)	330	330	330	330
	Agua (lt/m ³)	178	178	178	178
	Piedrin 1" PPO (kg/m ³)	630	630	630	630
	Piedrin 3/8" PPO (kg/m ³)	325	325	325	325
	Arena 0 - 1/4" PPO (kg/m ³)	923	923	923	923
	Polyheed 789 (ml/kg cto)	3.0	3.0	3.0	3.0
	Glenium 3020 (ml/kg cto)	-	2.0	2.0	2.0
	Fibra (kg/m ³)	0	4	5	6
	Relación agua / cemento	0.54	0.54	0.54	0.54

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 12. Corrección por humedad de los agregados

Tipo de agregado	Peso agregado húmedo(kg)	Peso agregado seco (kg)	Porcentaje de humedad	Peso corregido por humedad (kg)
1"	3	2.988	0.40%	47.16
3/8"	1	9.891	1.10%	22.5
Arena	0.5	0.4822	3.69%	69

Fuente: Elaboración propia

9.3 Ensayos elaborados al concreto fresco

Se llevaron a cabo los ensayos a concreto fresco: temperatura, asentamiento y contenido de aire para las cuatro mezclas. En primer lugar, se tomó la temperatura del concreto en estado fresco, en base a la norma COGUANOR NTG 41053 (ASTM C1064).

Fig. 25. Temperatura del concreto en estado fresco



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se llevó a cabo la prueba de asentamiento, para lo cual se utilizó un cono de Abrams, un metro y una varilla apisonadora. Para este ensayo, primero se humedeció el molde y se colocó en una superficie plana. Se mantuvo firmemente en su lugar durante del llenado. Se llenó el molde en tres capas, cada una se varilló 25 veces en toda la sección transversal de cada capa. La Figura 26 evidencia el ensayo realizado.

Fig. 26. Ensayo de asentamiento



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se determinó el contenido de aire de la mezcla por el método de presión en base a la norma COGUANOR NTG 41017- h7 (ASTM C231). Para este ensayo se utilizó un medidor tipo B, el cual consiste en un recipiente que iguala un volumen conocido de aire a una presión conocida, en una cámara de aire sellada, con el volumen conocido de aire en la muestra de concreto. El indicador del medidor de presión se calibra en términos del porcentaje de aire para la presión observada. Se llenó el recipiente en tres capas de igual volumen, cada capa se varilló 25 veces y se golpearon los lados del recipiente de 10 a 15 veces con el mazo para cerrar cualquier vacío. Finalmente se debe enrasar hasta lograr una superficie plana y lisa, dicho proceso se muestra en la Figura 27.

Fig. 27. Enrasado



Fuente: Elaboración propia

9.4 Elaboración de especímenes y curado

Se elaboraron 16 vigas en total, distribuidas de la siguiente manera: 4 vigas para cada dosificación de fibra a utilizar (4, 5 y 6 kg/m³), es decir 12 vigas en total, más 4 vigas para la mezcla control, sin dosificación de fibra. Las vigas se ensayaron a los 7 y 28 días, dos vigas se ensayaron a los 7 días y las otras dos vigas a los 28 días. Todas las mezclas se elaboraron con la misma relación agua-cemento, la variable fue la dosificación de fibra a utilizar. Como se indicó anteriormente, las dosificaciones de fibra utilizadas son: 4, 5 y 6 kg/m³ de concreto. Las vigas se ensayaron a flexión para determinar el módulo de rotura y la tenacidad del concreto reforzado con fibra. Además, se elaboraron 4 cilindros por cada dosificación de fibra, con el objetivo de estudiar el comportamiento a compresión del concreto reforzado con fibra. Los cilindros se ensayaron a los 7 y 28 días, en total se elaboraron 16 cilindros.

La elaboración de los especímenes de viga y los especímenes cilíndricos se llevó a cabo en base a la norma COGUANOR NTG 41060 (ASTM C 192-07). Previo a la elaboración de los especímenes, se elaboró la mezcla de concreto. Se debe mezclar el concreto durante 3 minutos, después que todos los componentes estén dentro de la mezcladora, luego se deja en reposo durante 3 minutos y finalmente se mezcla por 2 minutos. Se debe cubrir el extremo abierto de la mezcladora para prevenir evaporación en el período de reposo.

Fig. 28. Piedrín mezclado con fibra



Fuente: Elaboración propia

Como ya se mencionó anteriormente, a la mezcla se le adicionaron los siguientes aditivos: Polyheed 789 y Glenium 3020. El aditivo Polyheed 789 se le adicionó a todas las mezclas mientras que el Glenium 3020 únicamente se adicionó a las mezclas con fibra. Ambos aditivos se disolvieron en el agua de mezclado. En el caso de las mezclas con fibras, se adicionó la fibra cuando se adiciona el agregado grueso en la mezcladora y se mezcla por dos minutos, tal proceso se puede observar en la Figura 28. En la Figura 29 se puede observar la consistencia final de la mezcla con macrofibra de polipropileno.

Fig. 29. Consistencia de la mezcla con fibra



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se procedió a elaborar las vigas en un molde de 400 mm x 150mm x 150mm. Luego de la colocación de la mezcla en la viga, se debe engrasar el molde para facilitar el desencofrado. El molde engrasado se puede observar en la Figura 30.

Para elaboración de los especímenes se determinó el varillado como método de consolidación. Para determinar el número de varilladas se utilizó el Cuadro 9, en donde se especifica que se debe dar un apisonamiento por cada 14 cm² del área de la superficie superior de la viga. En este caso, el área de la viga es de 600cm², por lo que se varilló cada capa 43 veces. Cabe mencionar que cada viga se elaboró en dos capas aproximadamente de igual profundidad. Cada capa se debe compactar adecuadamente con la varilla y posteriormente se debe golpear de 10 a 15 veces con el martillo de caucho para sellar cualquier vacío que se haya producido durante el varillado. El proceso de varillado se puede observar en la Figura 32.

Después de compactar el concreto, se debe engrasar su superficie con una espátula para que la superficie quede plana y uniforme. Las vigas recién elaboradas permanecieron en reposo 24 horas hasta que se desmoldaron. La Figura 31 muestra las 16 vigas elaboradas y la Figura 33 muestra las vigas terminadas y desencofradas.

Fig. 30. Molde de la viga engrasado



Fuente: Elaboración propia

Fig. 32. Varillado de las vigas



Fuente: Elaboración propia

Fig. 31. Vigas elaboradas



Fuente: Elaboración propia

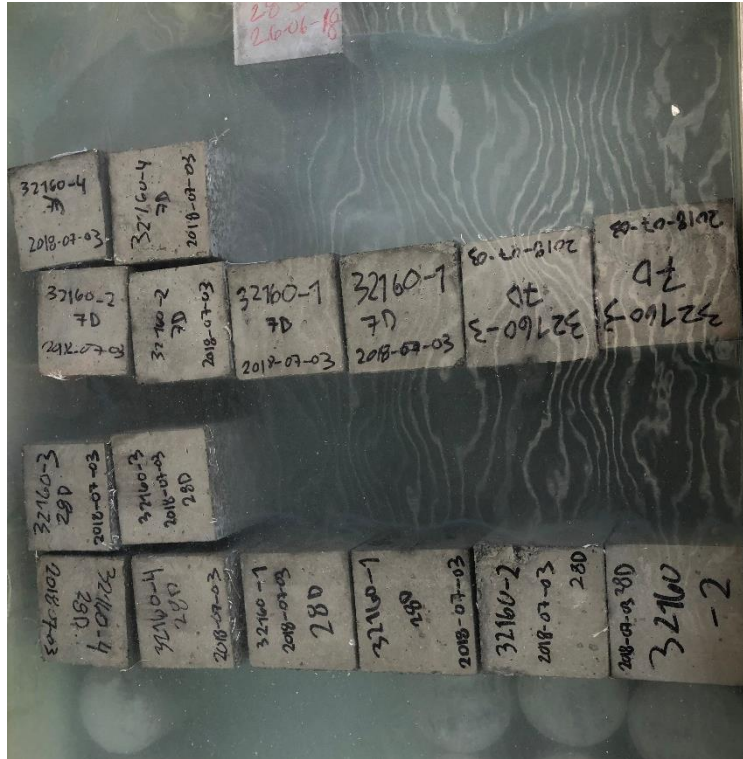
Fig. 33. Vigas desencofradas



Fuente: Elaboración propia

Posterior al desencofrado de las vigas, se procedió a identificarlas mediante un código y la fecha de elaboración. Las vigas se deben curar a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ en agua con cal para ensayar a 7 y 28 días. Es importante evitar el secado superficial de las muestras antes de ser ensayadas a flexión.

Fig. 34. Curado de las vigas



Fuente: Elaboración propia

Además, se elaboraron 16 cilindros para ser ensayados a compresión a 7 y 28 días. Se elaboraron 4 cilindros por mezcla. Se llenaron en dos capas puesto que el diámetro de estos se encontraba entre 75 y 100 mm y cada capa se varilló 25 veces. También se elaboraron 4 cilindros de 6 pulgadas de diámetro por 12 pulgadas de alto por cada mezcla para someterlos al ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión al concreto endurecido. Estos cilindros se llenaron en tres capas y a cada capa se le aplicaron 25 varilladas. Los resultados de dicho ensayo se pueden observar en el anexo de ensayos.

Fig. 35. Cilindros elaborados



Fuente: Elaboración propia

Con el objetivo de observar el comportamiento del concreto reforzado con macrofibras de polipropileno, se elaboraron cuatro planchas de 30 cm x 30 cm x 7.5 cm para ensayarlos a impacto, cuyos resultados también se pueden encontrar en el anexo de ensayos

X. RECOPIACIÓN, INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

10.1 Recopilación y descripción de resultados

Los resultados se dividen en dos partes: resultados de los ensayos al concreto fresco y al concreto endurecido. Para el concreto endurecido se obtuvieron resultados a los 7 y 28 días.

10.1.1 Resultados de los ensayos al concreto fresco

A cada una de las mezclas de concreto fresco se les determinó el asentamiento, la temperatura y el contenido de aire atrapado.

10.1.1.1 Asentamiento o Revenimiento

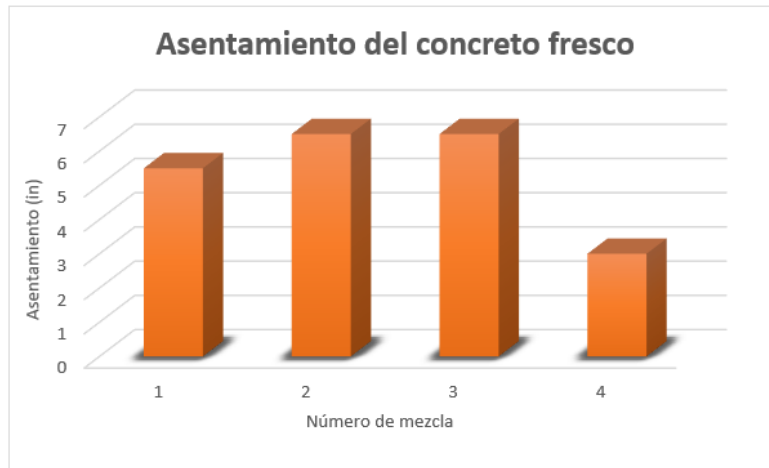
Para las cuatro mezclas se determinó el asentamiento. Para las mezclas con la inclusión de fibra, se utilizó el aditivo Glenium 3020 para alcanzar el asentamiento deseado. El Cuadro 13 muestra los resultados de asentamiento obtenidos.

Cuadro 13. Asentamiento obtenido

Número de mezcla	Dosis de fibra (kg/m ³)	Cantidad Polyheed incorporada (mL/kg)	Cantidad de Glenium incorporada (mL/kg)	Slump (in)
1	0	3	0	5.5
2	4	3	2	6.5
3	5	3	2	6.5
4	6	3	2	3

Fuente: Elaboración propia

Fig. 36. Comparación del asentamiento del concreto fresco



Fuente: Elaboración propia

El asentamiento del concreto fresco indica la trabajabilidad de este dependiendo de su consistencia o fluidez. El concreto debe tener una trabajabilidad apropiada para facilitar su colocación. En la Figura 36 se puede observar que el asentamiento de la mezcla control fue de 5.5 pulgadas mientras que el asentamiento la de la mezcla con 6 kg/m³ de fibra fue de 3 pulgadas, dando una disminución de 45%. Con una mayor dosificación de fibras, el asentamiento disminuye y afecta la trabajabilidad debido a que las fibras impiden el flujo de la mezcla. Las fibras sujetan a los agregados para evitar que se desplacen, funcionan como una red interna dentro del concreto, por lo tanto, la mezcla resulta más espesa y menos fluida. Sin embargo, el asentamiento se mantuvo igual con la dosis de 4 kg/m³ y 5 kg/m³, lo cual puede deberse a que únicamente hubo una diferencia de 1 kg/m³ en la dosificación de fibra, no es una variación excesiva.

Por otra parte, hubo un incremento en el asentamiento de la mezcla control a la segunda mezcla. A la mezcla control únicamente se le adicionó Polyheed 789 mientras que a la mezclas con fibras además de Polyheed 789 se les adicionó Glenium 3020. El Glenium 3020 es un reductor de agua de alto rango, como ya se mencionó anteriormente, y en general, ayuda a aumentar el asentamiento considerablemente, por lo mismo se observa un aumento del asentamiento de la mezcla control a la segunda.

En el Cuadro 4 se observan asentamientos recomendados para varios tipos de construcción. La mezcla con una dosificación de fibra de 6 kg/m³ dio un asentamiento de 3 pulgadas, para utilizar

en la construcción de zapatas y muros de cimentación reforzado, zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo, vigas y muros reforzados, columnas de edificios, pavimentos y losas y en concreto masivo.

10.1.1.2 Temperatura

Se obtuvo la temperatura del concreto fresco respetando la normativa COGUANOR NTG 41053 (ASTM C1064). La temperatura se midió en el equipo de transporte. Un aspecto a considerar es que el sensor del dispositivo de medición de temperatura debe estar cubierto de concreto al menos 3 pulgadas en todas las direcciones a su alrededor. El dispositivo de medición se debe dejar dentro de la mezcla como mínimo 2 minutos hasta que la lectura de la temperatura se estabilice. Para las cuatro mezclas se obtuvo una temperatura de 24°C Por lo tanto, la adición de fibra de polipropileno en dosis de 4, 5 y 6 kg/m³ no afecta la temperatura del concreto.

10.1.1.3 Porcentaje de aire

Se obtuvo el porcentaje de aire de cada mezcla por el método de presión, en base a la norma COGUANOR NTG 41017 h7 (ASTM C231). Este método de ensayo determina el contenido de aire en el concreto recién mezclado, excluyendo el aire que pueda existir dentro de los vacíos de las partículas de agregado. En el Cuadro 14 se muestra el porcentaje de aire obtenido para cada una de las mezclas. Como se puede observar, el contenido de aire tuvo una variación de 56% de la mezcla control a la mezcla con mayor dosificación de fibra, lo cual se debe a que la mezcla pierde trabajabilidad, se vuelve más difícil de compactar, y promueve más espacios vacíos.

Cuadro 14. Porcentaje de aire en las mezclas

Número de mezcla	Dosis de fibra (kg/m ³)	Porcentaje de aire
1	0	1.60%
2	4	2.40%
3	5	1.90%
4	6	2.50%

Fuente: Elaboración propia

10.1.1.4 Masa unitaria

Se obtuvo la masa unitaria para cada una de las mezclas en base a la normativa COGUANOR NTG- 41017h5 (ASTM C138). Para la elaboración de dicho ensayo, se utiliza un recipiente de volumen conocido y se llena en tres capas, en donde cada capa se debe varillar 25

veces sobre su sección transversal, después se golpea con el mazo de hule a los lados del recipiente con el objetivo de eliminar burbujas de aire. Finalmente se debe enrasar, se le da un acabado liso a la superficie y se procede a pesar.

La masa unitaria del concreto puede variar, dependiendo de la densidad relativa de los agregados, del contenido de aire y del contenido de agua y cemento. La compactación del concreto está relacionada con la masa unitaria del mismo. La compactación se refiere al acomodamiento que tienen las partículas de los materiales sólidos que lo componen. Una alta compactación se traduce en una alta masa unitaria, por lo tanto, la mezcla que presenta una mayor compactación es la mezcla control. El Cuadro 15 muestra la masa unitaria de cada mezcla, en donde se puede observar que la adición de fibra de polipropileno provoca una disminución de la masa unitaria, sin embargo, no en forma significativa.

Teniendo la masa unitaria se puede calcular el rendimiento del concreto, el cual se define como el volumen del concreto producido con una cantidad conocida de materiales. El Cuadro 16 muestra el rendimiento de cada mezcla de concreto fresco. La adición de macrofibras de polipropileno al concreto no afecta el rendimiento de este, tal como se puede observar en dicho cuadro.

Cuadro 15. Masa unitaria de cada mezcla

Número de mezcla	Dosis de fibra (kg/m ³)	Masa (kg)	Volumen del recipiente (m ³)	Masa unitaria (kg/m ³)
1	0	16.82	0.00705	2385.82
2	4	16.56	0.00705	2348.94
3	5	16.69	0.00705	2367.38
4	6	16.6	0.00705	2354.61

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 16. Rendimiento del concreto

Número de mezcla	Peso teórico	Peso en campo	Rendimiento
1	2343	2385.815603	0.98
2	2335	2348.93617	0.99
3	2333	2367.375887	0.99
4	2327	2354.609929	0.99

Fuente: Elaboración propia

10.1.2 Resultado de los ensayos al concreto endurecido

Con el objetivo de determinar el comportamiento mecánico del concreto endurecido, se le realizaron los siguientes ensayos: tenacidad, flexión y compresión. En el anexo de ensayos se pueden encontrar ensayos adicionales que se le hicieron al concreto endurecido.

10.1.2.1 Resultados de tenacidad

La tenacidad es la medida de capacidad de absorción de energía de un material y se utiliza para caracterizar la aptitud de un material para resistir fracturas al ser sometido a esfuerzos estáticos o dinámicos de impacto. Para llevar a cabo el ensayo de tenacidad, se elaboraron vigas con las diferentes dosificaciones de fibra mencionadas anteriormente. La tenacidad se determina mediante la norma ASTM C1609, que tiene como objetivo encontrar la resistencia máxima del concreto, la resistencia residual (resistencia después que la primera fisura aparece), y el valor de tenacidad expresado en Joules.

El ensayo consiste en colocar la viga en posición horizontal, apoyada en sus extremos. Se le aplicó carga a una velocidad de desplazamiento al centro del claro de 0.15 mm/min. El equipo consiste en un marco rígido que permite el control por desplazamiento para obtener la respuesta carga-desplazamiento después que se presenta el primer agrietamiento. Los desplazamientos se obtienen por dos LVDT (Transductores de desplazamiento lineal) que se posicionan al centro del claro de la viga. En la Figura 37 se puede observar el ensayo de tenacidad para la viga con dosificación de fibra de 6 kg/m³.

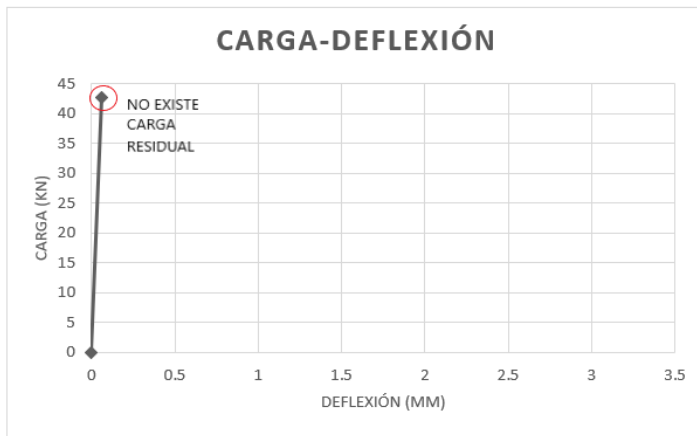
Fig. 37. Ensayo de tenacidad para viga con dosificación de seis kg/m³



Fuente: Elaboración propia

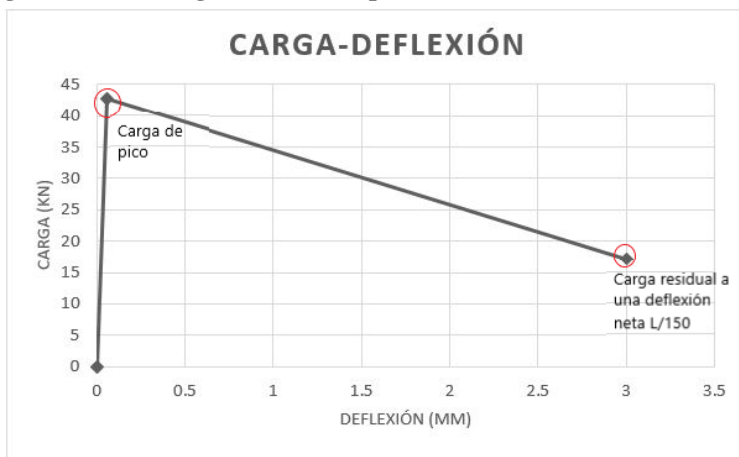
En este estudio, no se observó un segundo pico de resistencia después del agrietamiento, por lo tanto, la carga del primer pico, es decir del primer agrietamiento, es igual a la carga máxima ($P_1=P_p$), por lo tanto, las resistencias son iguales ($f_p=f_1$) y la deflexión del primer pico es la misma que la deflexión a la carga máxima ($\delta_1=\delta_p$). Una vez el concreto se agrieta, la viga continúa deformándose y su resistencia aumenta, pero nunca es superior a la del primer pico. La tenacidad del concreto se calcula como el área bajo la curva carga-desplazamiento. A continuación, se pueden observar gráficamente el comportamiento carga-desplazamiento para las tres dosificaciones de fibra y la mezcla control. Asimismo, el Cuadro 17 muestra los resultados de tenacidad.

Fig. 38. Gráfico carga vs deflexión para mezcla control



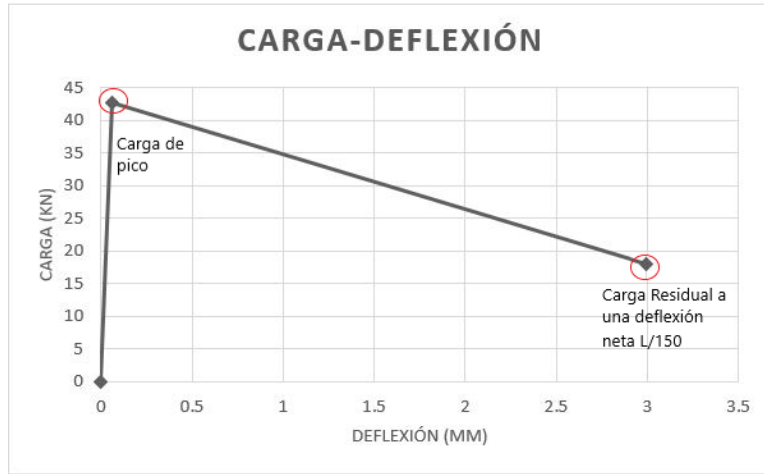
Fuente: Elaboración propia

Fig. 39 Gráfico carga vs deflexión para concreto con dosis de fibra de cuatro kg/m³



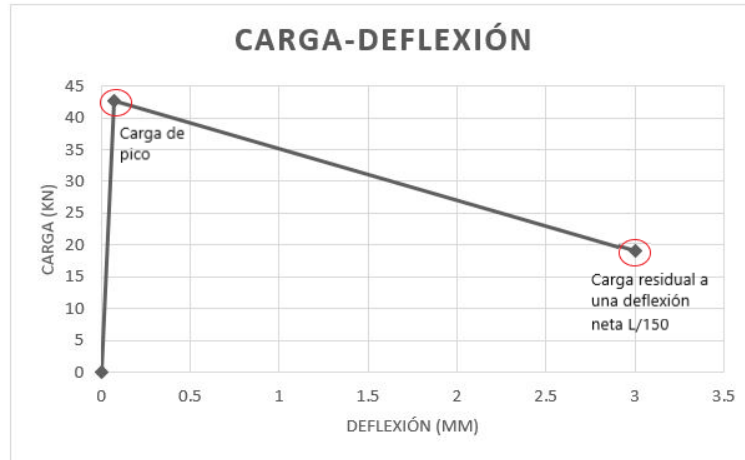
Fuente: Elaboración propia

Fig. 40. Gráfico carga vs deflexión para concreto con dosis de fibra de cinco kg/m³



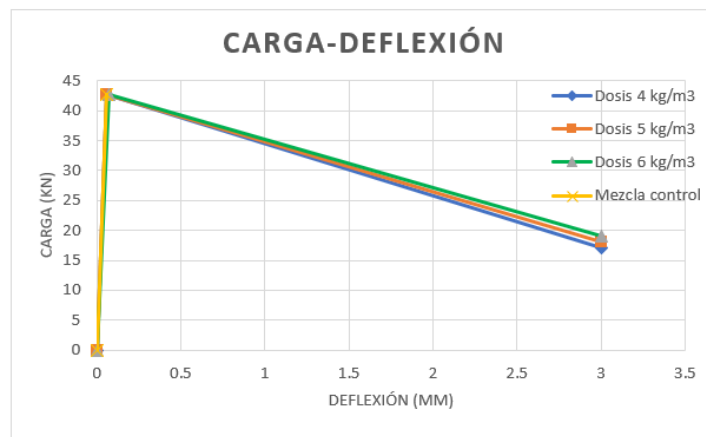
Fuente: Elaboración propia

Fig. 41 Gráfico carga vs deflexión para concreto con dosis de fibra de seis kg/m³



Fuente: Elaboración propia

Fig. 42. Gráfico carga vs deflexión comparativo para todas las mezclas



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 17. Resultados de la prueba de tenacidad para concretos con fibra

No. Viga	Carga, N		b, mm	d,mm	Resistencia, Mpa		Deflexión, mm	
	Primer pico	Máxima			Primer pico	Máxima	Primer pico	Carga máxima
	P_1	P_P			f_1	f_P	δ_1	δ_P
2	42,750	42,750	152	153	5.41	5.41	0.06	0.06
	39,460	39,460	151	153	5.02	5.02	0.06	0.06
Promedio	41,105	41,105	152	153	5.22	5.22	0.06	0.06
3	44,240	44,240	151	154	5.56	5.56	0.06	0.06
	42,090	42,090	152	153	5.32	5.32	0.06	0.06
Promedio	43,165	43,165	152	154	5.44	5.44	0.06	0.06
4	38,920	38,920	152	153	4.92	4.92	0.06	0.06
	39,330	39,330	152	153	4.97	4.95	0.07	0.07
Promedio	39,125	39,125	152	153	4.95	4.94	0.07	0.07

No. Viga	Carga Residual, N		Resistencia Residual, Mpa		Tenacidad, Joules	Resistencia equivalente a la resistencia de flexión
	P_{600}^D	P_{150}^D	f_{600}^D	f_{150}^D		
					$Tl/_{150}$	$R_{T,150}^D$
2	-	17,000	-	2.15	89	69.50%
	-	17,100	-	2.20	84	71.50%
Promedio	-	17,050	-	2.18	87	70.5%
3	-	18,180	-	2.30	93	70%
	-	18,000	-	2.30	90	71%
Promedio	-	18,090.00	-	2.30	91.50	71%
4	-	19,500	-	2.45	87	74.50%
	-	19,000	-	2.40	87	73.50%
Promedio	-	19,250	-	2.43	87	74%

Fuente: Elaboración propia

La Figura 38 muestra el comportamiento de un concreto simple, sin ninguna dosificación de fibra. Tal como se puede observar, no es capaz de soportar carga residual después que el concreto falla. Cuando el concreto no tiene fibras, alcanza la carga pico y el elemento falla repentinamente. Sin embargo, al incorporarle macrofibras de polipropileno es capaz de seguir soportando carga, tal como se puede observar en las Figuras 39, 40 y 41. En las gráficas carga vs deflexión destaca el comportamiento de cada una de las mezclas, se observa un comportamiento elástico y otro plástico, en donde, el material se sigue deformando hasta alcanzar la ruptura.

Las dosificaciones de fibra son similares, con una variación de 1 kg/m³, por lo que los resultados obtenidos para cada dosificación no varían significativamente. En general, las curvas presentan un tramo inicial, en donde la carga es soportada por el concreto y el trabajo de las fibras

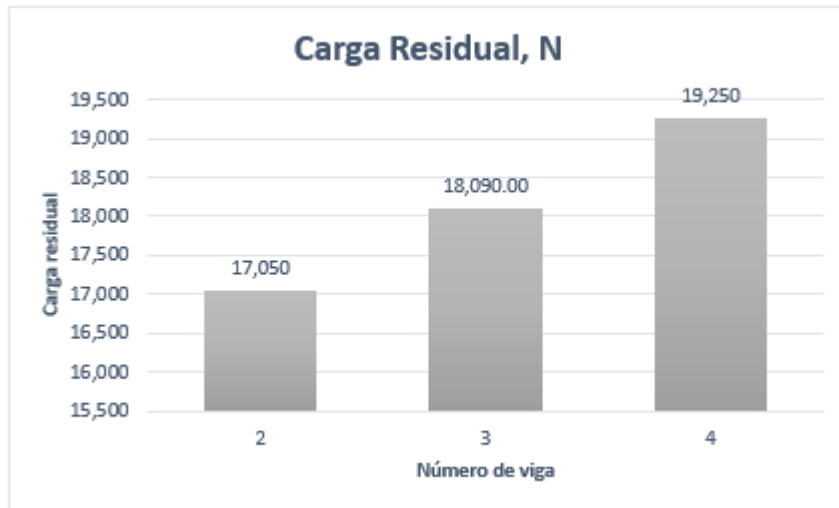
es mínimo. Cuando inicia la fisuración, la carga se transmite a las fibras y éstas absorben toda la carga y trabajan en conjunto con el concreto. Cuando el concreto alcanza una deformación determinada, la fase de descarga inicia, la deformación se incrementa a una fuerza menor. La fase de descarga ocurre como consecuencia de la pérdida de anclaje de las fibras, lo cual produce la rotura del elemento.

La Figura 42 muestra una comparación en el comportamiento carga- deflexión de las vigas con las distintas dosificaciones de fibra. Se puede observar que el valor de carga residual se incrementa levemente conforme se aumenta la cantidad de fibra en la mezcla. Además, se observa que el valor de carga de primer pico es independiente de la dosificación de fibra, no tienen ninguna relación.

Además, se obtuvieron todos los valores establecidos por la norma ASTM C1609, los cuales se pueden observar en el Cuadro 17. Se elaboraron dos vigas por mezcla, en donde la viga 1 no contiene macrofibras de polipropileno, la viga 2 contiene 4 kg/m³, la viga 3 contiene 5 kg/m³ y la viga 4 contiene 6 kg/m³. Se obtuvo un promedio para cada pareja de vigas de los valores obtenidos. Se determinó la carga pico " P_1 " para cada una de las mezclas en el momento de la primera fractura. La carga pico es el valor de carga del primer punto, en la curva carga-deflexión, en donde la pendiente es cero. La carga pico coincide con la carga máxima, puesto que la carga pico es la carga máxima en todos dos casos. Además, se obtuvo el valor de la resistencia de primer pico " f_1 " y de y de la resistencia máxima " f_p ". Dichos valores se obtuvieron con la expresión (8), la cual se utiliza para calcular el módulo de rotura. Tal como se puede observar, la dosificación de fibra es independiente del valor de resistencia máxima.

También se obtuvo la deflexión en el primer pico δ_1 mediante la expresión (9), el cual coincide con la deflexión máxima. Dicho valor corresponde al instante en el que se presenta la falla en el espécimen. Para las vigas 2 y 3 se obtuvo un valor de 0.06mm y para la viga 4 es de 0.07 mm. Un parámetro importante en este ensayo es el valor de la carga residual, la Figura 43 muestra la carga residual por viga. Se puede observar que dicho valor se incrementó 6% de la segunda viga a la tercera y 6.4% de la tercera viga a la cuarta. Por lo tanto, la dosificación de fibra agregada al concreto influye en la capacidad de carga residual del mismo.

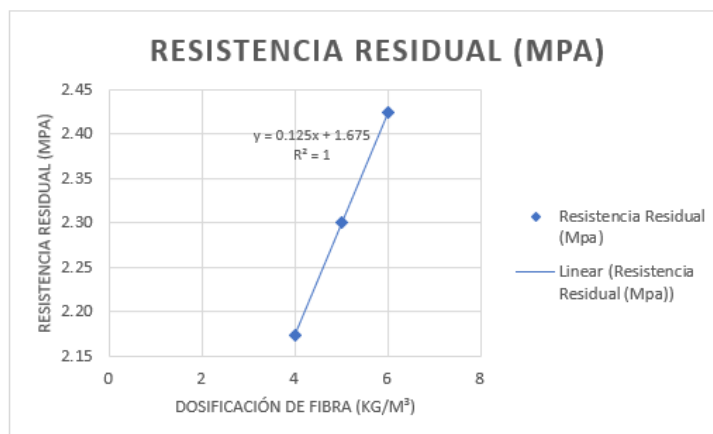
Fig. 43. Carga residual para cada viga



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, la norma ASTM C1609 valora la capacidad post-pico en términos de resistencia residual, la cual representa la tensión nominal de flexión que puede sobrellevar la viga fisurada para determinadas deformaciones (Passada, González, Violini, & Pappalardi, 2012). Se obtuvo la capacidad de resistencia residual (f_{150}^D) para una deflexión de 3 milímetros. En la Figura 44 se puede observar que dicho valor se incrementó un 5% en cada viga. Además, presenta una relación lineal, con un coeficiente de determinación de 1, por lo que presenta un ajuste lineal perfecto. Por lo tanto, el concreto reforzado con mayor dosificación de fibra, presenta mayor resistencia a la flexión después de agrietarse. A mayor dosificación de fibra, mayor es la capacidad de carga que imparten las fibras cuando se supera la resistencia a tracción del concreto.

Fig. 44. Resistencia Residual



Fuente: Elaboración propia

La macrofibra de polipropileno y la matriz de concreto se combinan para resistir cargas antes de que ocurra el agrietamiento del concreto. Otro factor que se evaluó es la capacidad de absorción de energía del concreto reforzado con fibras, lo cual se define como tenacidad, a una deflexión de 3 milímetros. En el Cuadro 17 se puede observar que la tenacidad varió entre 87 y 91 Joules, no existe una relación entre el contenido de fibra empleado y la capacidad de absorción de energía obtenido debido a los bajos contenidos de fibras de polipropileno utilizados y a que las cantidades de fibra son similares. Según los resultados y para nuestro estudio en particular, la dosis óptima de fibra parece ser la de 5 kg/m³, la tenacidad obtenida para la dosis mayor (6 kg/m³) no fue la esperada, puesto que se preveía que esta tuviese la mayor tenacidad, por tener el mayor volumen de fibras. Lo anterior se debe principalmente a que el mezclado del concreto es más difícil, y probablemente la fibra no se distribuyó homogéneamente en la mezcla, y se incorporó un mayor porcentaje de aire, tal como se mencionó anteriormente.

Sin embargo, es claro que, comparando la tenacidad del concreto sin fibras, con el concreto reforzado con fibras, se observa que agregarle fibras al elemento, mejora la disipación de energía. Además, mejoran las características del concreto y se obtiene un material sin fallas súbitas o frágiles, por lo tanto, el comportamiento mecánico del concreto se vuelve más predecible. Es evidente que la adición de fibras al concreto incrementa su capacidad residual, su resistencia residual y su tenacidad. No obstante, las fibras no pueden reemplazar el refuerzo primario, debido a que el aumento de la resistencia a flexión no es tan significativo para reemplazar la armadura de acero, sin embargo, si puede reemplazar el refuerzo secundario como la malla electrosoldada. El aumento de la capacidad de absorción de energía proporcionada por las fibras aumenta la ductilidad del concreto, mejora el comportamiento ante las fisuras y permite seguir resistiendo cargas ante microfisuras. Por otra parte, las fibras contribuyen a restringir el crecimiento de las fisuras, siendo que cuando se fisura la matriz de concreto, la carga se transmite a las fibras.

Finalmente, se obtuvo el parámetro $R_{T,150}^D$, mediante la expresión (10). Se utiliza para caracterizar la resistencia a flexión del concreto reforzado con fibra. A este parámetro se le llama “Relación de resistencia a la flexión equivalente” y se expresa como un porcentaje. Muestra la relación de las cargas de flexión que pueden soportar las fibras cuando la sección está agrietada comparada con la carga máxima. En el Cuadro 17 se puede observar que hubo una tendencia a que

este valor aumentara conforme mayor volumen de fibra. Aumentó un 4% de la viga con una dosificación de fibra de 4 kg/m³ a la viga con una dosificación de 6 kg/m³. Por lo tanto, la viga con una dosificación mayor de fibras puede soportar más cargas a flexión cuando la sección está agrietada.

10.1.2.2 Resultados de Módulo de Rotura

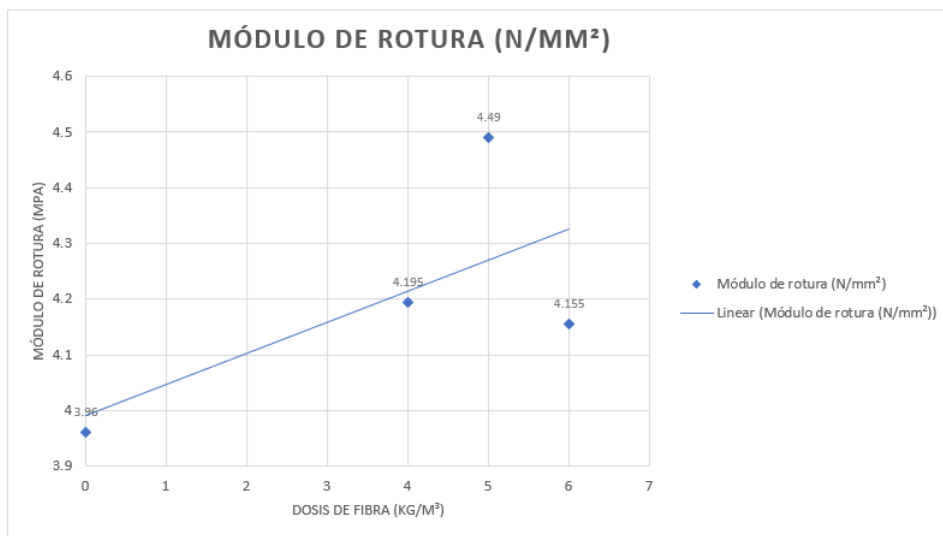
Se determinó el módulo de rotura a 7 y 28 días según COGUANOR NTG 41017-h2 (ASTM C78). Los resultados se pueden observar a continuación.

Cuadro. 18. Resultados del ensayo a flexión

Dosis de fibra (kg/m ³)	Edad	Masa (kg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Carga (N)	Módulo de rotura (N/mm ²)
0	7	29.49	540	149	154	27,418.77	4.19
	7	29.41	542	149	154	27,317.59	4.19
Promedio	7	29.45	541	149	154	27,368.18	4.19
4	7	29.42	537	148	156	26,560.23	3.96
	7	29.33	540	149	154	28,989.30	4.43
Promedio	7	29.375	538.5	148.5	155	27,774.76	4.195
5	7	29.34	540	149	155	28,836.67	4.35
	7	29.41	537	150	154	30,671.81	4.63
Promedio	7	29.375	538.5	149.5	154.5	29,754.24	4.49
6	7	29.84	537	149	154	26,124.26	3.97
	7	29.76	536	150	154	28,804.32	4.34
Promedio	7	29.8	536.5	149.5	154	27,464.29	4.155

Fuente: Elaboración propia

Fig. 45 Módulo de rotura del concreto a 7 días



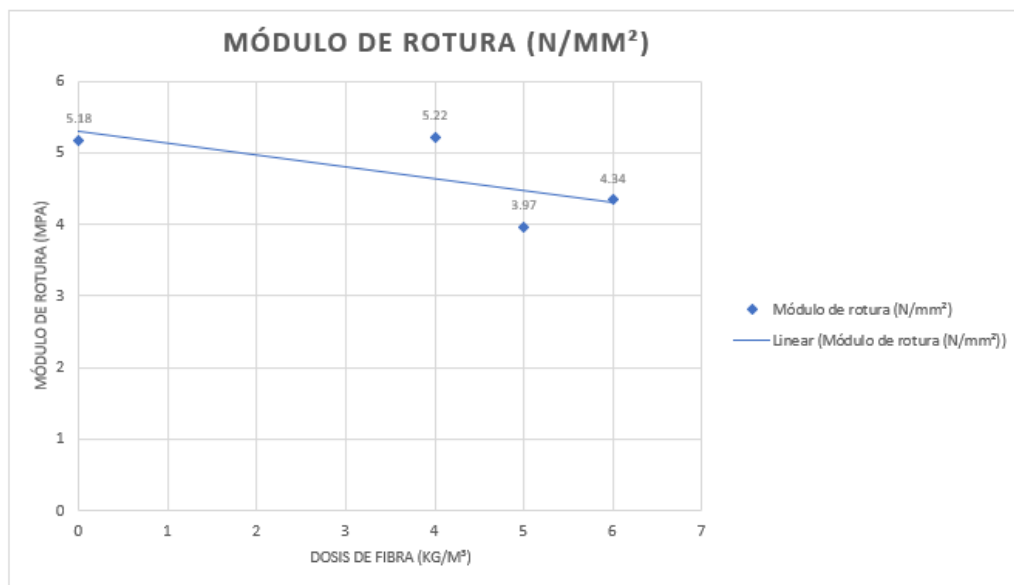
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 19. Módulo de rotura a los 28 días

Dosis de fibra (kg/m ³)	Módulo de rotura (N/mm ²)
0	5.18
4	5.22
5	3.97
6	4.34

Fuente: Elaboración propia

Fig. 46. Módulo de rotura a los 28 días



Fuente: Elaboración propia

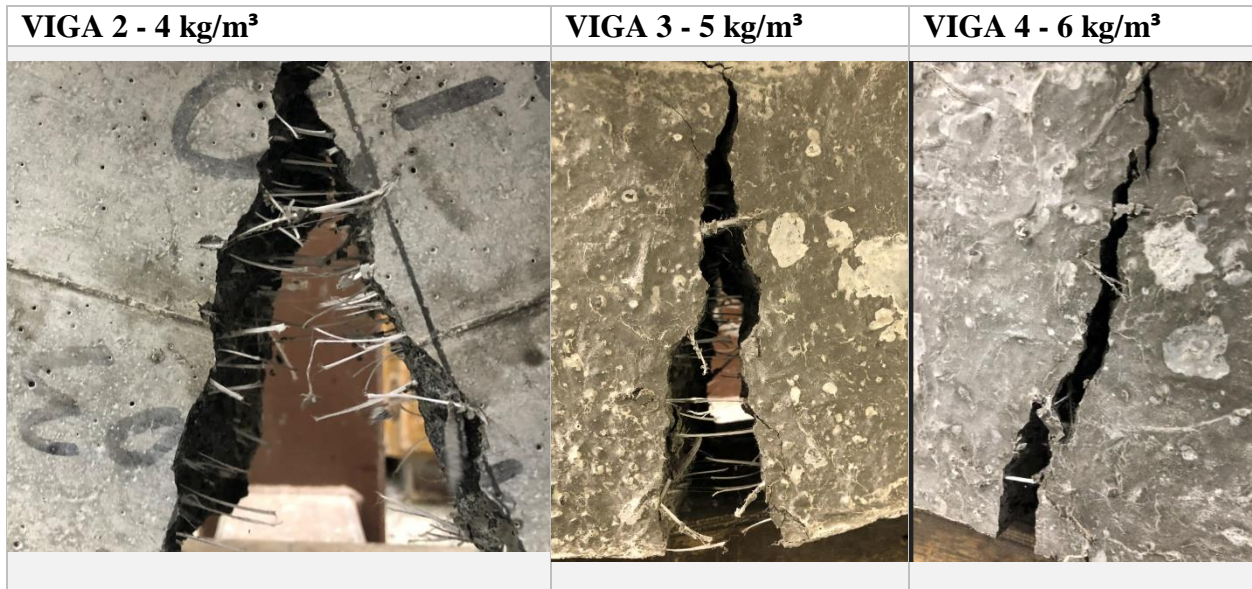
El Cuadro 18 muestra los resultados a flexión del concreto. Se obtuvo el módulo de rotura mediante la expresión (8). El módulo de ruptura corresponde a la resistencia a la flexión de un concreto. Tal como se puede observar, el concreto sin fibra presenta un módulo de rotura a los 7 días de 4.19 MPa mientras que para el concreto reforzado con 5 kg/m³ se obtuvo un valor de 4.49 MPa, es decir incrementó un 7.15%. Sin embargo, para la dosificación de 6 kg/m³ se obtuvo un módulo de rotura de 4.16 MPa, el cual es menor que el módulo de rotura de las otras vigas. Debido a que la dosificación de fibra es mayor, la distribución de la fibra a lo largo de la viga puede no ser uniforme. Se debe tener precaución en el proceso de mezclado para que la fibra se distribuya homogéneamente a lo largo de la viga. La mala elaboración de las vigas con una mayor

dosificación de fibra puede brindar resultados erróneos. Por otro lado, la mezcla puede contener una cantidad mayor de aire, lo cual resulta en una disminución de la resistencia a flexión del concreto. Por otro lado, estudios del comité del ACI 544 sugieren que si el contenido de fibra de polipropileno es 0.1% del volumen total, existe un leve incremento en el módulo de rotura, en cambio, si el porcentaje de fibra ronda entre 0.2 y 0.3% del volumen total, existe una leve disminución del mismo.

Por otra parte, se puede observar el módulo de rotura a los 28 días en la Figura 46. Dicho valor se incrementó levemente en la dosis de 4 kg/m³. Sin embargo, de la misma manera que a los 7 días, el módulo de rotura disminuyó para la viga con dosis de fibra de 6 kg/m³, lo cual se puede deber a una mala elaboración de la viga por el incorrecto proceso de mezclado o del varillado. Además, debido a que la cantidad de fibra incorporada es elevada, la trabajabilidad se reduce y puede que la fibra no se haya distribuido homogéneamente en toda la mezcla y el porcentaje de aire incorporado es mayor, causando una disminución en la resistencia a flexión. La Figura 47 muestra una comparación de la forma de rotura que sufrieron las vigas de concreto con las distintas dosificaciones de fibra. Se puede observar que las fibras aportan un incremento en la ductilidad y una disminución en el ancho de la fisura.

Además, se puede observar que conforme mayor dosificación de fibra, la propagación de la fisura fue disminuyendo y no progresó bruscamente hacia arriba, debido a la cantidad de fibras no se presentó una falla explosiva, ni súbita. Se pudo observar el instante en el que el concreto presentó su primera fisura y cómo se hacía más grande a medida que la deflexión aumentaba. En cambio, en la viga sin refuerzo de fibra, la rotura fue brusca y se partió por completo. Esta es una de las mayores ventajas del concreto reforzado con fibras, que es precisamente impedir que el concreto falle de manera súbita, evitando la fractura total del elemento, permitiendo una buena deflexión antes de la falla.

Fig. 47. Rotura de la viga con distintas dosificaciones de fibra



Fuente: Elaboración propia

10.1.2.3 Resultados de Compresión

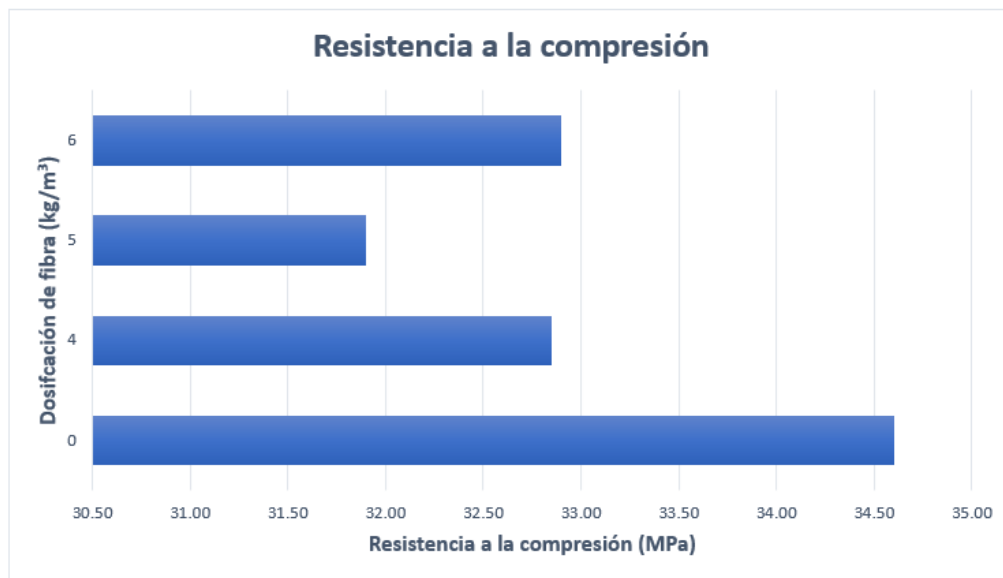
Se determinó la resistencia a la compresión del concreto a 7 y 28 días mediante la aplicación de carga axial de compresión a los cilindros moldeados, bajo los criterios de la norma COGUANOR NTG 41017h1 (ASTM C39) “Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.” El Cuadro 20 muestra los resultados de los ensayos realizados.

Cuadro 20. Resultados de compresión

Dosis de fibra (kg/m ³)	Edad	Masa (kg)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Resistencia (Mpa)	Tipo de rotura
0	7	3.95	8012.00	276.40	34.50	5
		3.95	8091.00	280.70	34.70	2
Promedio	7	3.95	8051.50	278.55	34.60	-
0	28	3.81	8091.00	343.50	42.50	2
		3.78	8091.00	356.20	44.00	2
Promedio	28	3.80	8091.00	349.85	43.25	-
4	7	3.95	8091.00	277.30	34.30	5
		3.96	8091.00	253.70	31.40	5
Promedio	7	3.96	8091.00	265.50	32.85	-
4	28	3.73	8091.00	368.80	45.60	2
		3.91	8091.00	346.20	42.80	2
Promedio	28	3.82	8091.00	357.50	44.20	-
5	7	3.94	8091.00	264.50	32.70	5
		3.95	8091.00	251.60	31.10	2
Promedio	7	3.95	8091.00	258.05	31.90	-
5	28	3.93	8091.00	312.00	33.60	2
		3.92	8091.00	312.00	33.30	2
Promedio	28	3.93	8091.00	312.00	33.45	-
6	7	3.71	8012.00	270.80	33.80	2
		3.92	8091.00	259.30	32.00	2
Promedio	7	3.82	8051.50	265.05	32.90	-
6	28	3.91	8091.00	340.60	42.10	2
		3.93	8091.00	331.10	40.90	2
Promedio	28	3.92	8091.00	335.85	41.50	-

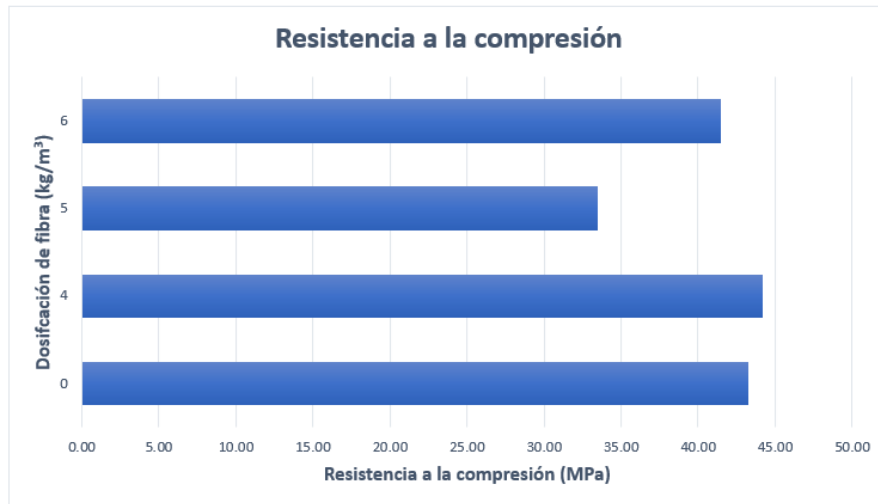
Fuente: Elaboración propia

Fig. 48. Resistencia a la compresión a 7 días



Fuente: Elaboración propia

Fig. 49. Resistencia a la compresión a 28 días



Fuente: Elaboración propia

El Cuadro 20 muestra todos los resultados a compresión a 7 y a 28 días de edad. Las Figuras 48 y 49 muestran gráficamente la resistencia a la compresión por cada mezcla, con las distintas dosificaciones de fibra empleadas. Los resultados fueron muy similares en las cuatro mezclas, sin embargo, a los 7 días, la resistencia disminuyó al incorporarle fibra al concreto. A los 28 días, la resistencia es similar, sin cambios significativos.

Existe una tendencia a la disminución de la resistencia a compresión por la incorporación de las fibras. Una de las posibles causas, por lo que se observó ese comportamiento, es que las fibras sintéticas son un material hidrofóbico debido a su estructura química, lo cual genera una baja adherencia de las fibras con el concreto, afectando de manera negativa su dispersión en la matriz. La disminución de la resistencia también puede ser causada por un aumento en la cantidad de vacíos, a causa de una insuficiente compactación por la presencia de la fibra, que no es anormal en este tipo de concretos, pero como consecuencia resulta en un descenso de la resistencia.

El Comité del ACI 544 afirma que el concreto reforzado con fibra afecta la trabajabilidad, resulta en una mayor exudación y segregación y una cantidad de aire atrapado mayor, lo cual conlleva a la disminución de la resistencia a la compresión. Si se adiciona del 0.1 al 1% de fibras sobre el volumen total, no existe una reducción en la resistencia a la compresión.

La adición de macrofibras de polipropileno no incrementa la resistencia a compresión del concreto, pero si es claro que reduce o elimina la falla súbita del concreto sometido a compresión.

Al momento de la falla de los cilindros elaborados con mezclas de SNFRC, no se observó ninguna falla súbita, estos fallaron sin presentar pérdidas de material, debido principalmente a que las fibras impiden que la fisura se siga extendiendo. La mayoría de los cilindros presentaron una falla tipo 2, tipo de falla en la que se forman conos en un extremo, fisuras verticales a través de los cabezales y un cono bien definido en el otro extremo. La Figura 50 muestra el ensayo a compresión realizado para la mezcla control.

Fig. 50. Cilindro de la mezcla control ensayado a compresión



Fuente: Elaboración propia

XI. CONCLUSIONES

- Se pudo comprobar que al agregar macrofibras de polipropileno a la mezcla de concreto, en general, el módulo de rotura aumenta ligeramente a los 7 días de edad. Sin embargo, se observó que en la mezcla de concreto con dosificación de 6 kg/m^3 el módulo de rotura de hecho disminuye, esto especialmente debido a que la mezcla contiene mayor porcentaje de aire, con una trabajabilidad menor, dando como resultado una compactación deficiente y una distribución no adecuada de las macrofibras dentro de la mezcla.
- Se comprobó que las macrofibras le otorgan tenacidad al concreto, obteniéndose una tenacidad de 89 Joules, mientras que en la mezcla control, sin dosificación de macrofibras de polipropileno, no existe capacidad de absorción de energía. No queda duda que la capacidad para resistir esfuerzos y cargas residuales es mayor que un concreto sin fibras, precisamente lo que se esperaba obtener. El valor de carga residual tuvo un incremento de 6% de la segunda viga a la tercera y 6.4% de la tercera viga a la cuarta. Por lo tanto, la dosificación de fibra agregada al concreto influye en la capacidad de carga residual del mismo.
- Las macrofibras aportan al sistema para evitar que el concreto falle de manera repentina, provocando así una falla dúctil, impidiendo que la fractura continúe difundiéndose a lo largo de la viga. Un concreto sin macrofibras falla de manera repentina y no tiene capacidad de absorber carga residual debido a que después de la primera grieta, la rotura es completa.
- En relación con las propiedades del concreto fresco, se determinó que, a medida que se incrementa el porcentaje de adición de macrofibras en la mezcla de concreto, el contenido de aire atrapado en la mezcla también incrementa. Por otro lado, debido a que, introducir macrofibras dentro de la mezcla puede afectar la trabajabilidad del concreto, esto dificulta la compactación y, por lo tanto, la homogeneidad de la distribución de las macrofibras en la mezcla.
- La resistencia a la compresión se ve afectada de manera negativa al introducir una dosificación significativa de macrofibras en la mezcla. La resistencia a compresión a los 7 días disminuyó

un 5% al implementarle 6 kg/m³ y a los 28 días disminuyó un 4%. Como se ha mencionado anteriormente, esto es debido a que se promueve una mayor cantidad de aire atrapado y esto contribuye directamente en la disminución de la resistencia. En resumen, la adición de macrofibras de polipropileno no incrementa la resistencia a compresión del concreto, pero si contribuyen a contener la falla súbita de los cilindros de concreto cuando son sometidos a fuerzas de compresión.

XII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar el vibrado externo por medio de vibrador de inmersión, como método de consolidación para la elaboración de cilindros y vigas, especialmente cuando se dosifica macrofibra de polipropileno. Mediante la vibración externa se pretende que la macrofibra de polipropileno se distribuya homogéneamente dentro de la mezcla y se obtengan mejores resultados.
- Se recomienda utilizar mezclas de concreto con un porcentaje mayor de macrofibra de polipropileno en su dosificación, que el que se utilizó en este estudio, esto con el objeto de ampliar la gama de resultados de tenacidad en mezclas de concreto con este tipo de fibras.
- Se recomienda hacer estudios comparativos de resultados de tenacidad, bajo la norma ASTM C1609, en comparación con las otras normas existentes relacionadas con este tema, como las normas ASTM C1018 y la norma ASTM C1399.
- Se recomienda realizar ensayos complementarios como el de retracción por secado del concreto según ASTM C157 y la determinación del módulo de elasticidad del concreto según COGUANOR NTG 41017 h16 (ASTM C469) para caracterizar de forma general el comportamiento del concreto reforzado con fibras.
- Se recomienda realizar un análisis comparativo de los concretos reforzados con fibras de acero y macrofibras de polipropileno para caracterizar el desempeño y encontrar ventajas y desventajas de cada tipo de fibra cuando se adicionan al concreto en diferentes dosificaciones.

XIII. BIBLIOGRAFÍA

- ACI Committe 544. (2002). *Report on Fiber Reinforced Concrete*. Nevada: American Concrete Institute.
- ACI Committee 211. (2002). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91)*. Nevada: American Concrete Institute.
- ASTM International. (2012). *ASTM C 1609/ C1609 M-12. Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)*. West Conshohocken.
- Caballero, K. (2016). *Concreto reforzado con fibras* . Recuperado de: revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/1527
- Carrasco, F. (2012). *Rocas y agregados para hormigones* . Recuperado de: <https://www.fceia.unr.edu.ar/~fermar/Apuntes%20Tecnolog%C3%ADa%20del%20Hormig%C3%B3n%20UTN%20FRSF/Unidad%203%20-%20ROCAS%20Y%20AGREGADOS%20PARA%20HORMIGONES.pdf>
- Comisión Guatemalteca de Normas. (2010). *Agregados para Concreto. Especificaciones*. Recuperado de: <https://conred.gob.gt/site/normas/NRD3/NTG41007.pdf>
- Comisión Guatemalteca de Normas. (2010). *Práctica para el muestreo de los agregados para concreto*. Recuperado de: <https://conred.gob.gt/site/normas/NRD3/NTG41009.pdf>
- Comisión Guatemalteca de Normas. (2011). *Método de ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto (utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz)*. Recuperado de: <http://conred.gob.gt/site/normas/NRD3/NTG41017h2.pdf>
- Comisión Guatemalteca de Normas. (2012). *Cementos hidráulicos. Especificaciones por desempeño*. Recuperado de: https://conred.gob.gt/site/normas/NRD3/1_CEMENTO/1_NORMA_COGUANOR_NTG_41095_ASTM_c1157.pdf
- Comisión Guatemalteca de Normas. (2012). *Método de ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto (utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz)*. Guatemala : COGUANOR .
- Comisión Guatemalteca de Normas. (2012). *Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio*. Guatemala: COGUANOR.
- Comisión Guatemalteca de Normas. (2010). *Método de ensayo. Determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. Guatemala: COGUANOR.
- Comisión Guatemalteca de Normas. (2011). *Aditivos químicos para concreto. Especificaciones*. Guatemala : COGUANOR .
- Comisión Guatemalteca de Normas. (2011). *Método de ensayo. Determinación del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del concreto a compresión*. Recuperado de: <https://www.agies.org/en/library/guatemalan-technical-standards/concrete-spanish-only%3Fdownload%3D163:norma-ntg-41017-h16-astm-c469-metodo-de-ensayo-determinacion-del-modulo-de-elasticidad-estatico-y-la-relacion-de-poisson-del-concreto-a-compresion+&cd=1>
- Comisión Guatemalteca de Normas. (2012). *Cementos hidráulicos. Especificaciones por desempeño*. Guatemala: COGUANOR.

- Crespo , S., Méndez, A., Carrión , F., Quintana, J., Hernández, Jorge, & Gasca, H. (2016). *Análisis del agrietamiento en concreto a través de la técnica de emisiones acústicas*. Recuperado de: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt479.pdf>
- D´Amico, A. (2012). *CONcreto reforzado con fibras y concreto lanzado. Nuevos métodos de ensayo. Construcción y tecnología en concreto* , 1-6.
- De López, L. G. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- Frómata, I. (2015). Una aproximación a los concretos reforzados con fibras . *TECNOLOGÍA* , 1-6.
- Gutiérrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Colombia : Universidad Nacional de Colombia.
- Harmsen. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado* . Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Hermida, É. (2012). *Polímeros* . Recuperado de: http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf
- Icontec . (2008). *Explorando el Concreto Reforzado con Fibras (CRF)*. Recuperado de: <http://www.imcyc.com/ct2008/feb08/materia.htm>
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto . (2006). Contracción por secado del concreto . *El concreto en la obra* , 8.
- Instituto mexicano del cemento y del concreto . (2007). Agrietamiento en el concreto endurecido . *El concreto en la obra. Problemas, causas y soluciones*, 1-5.
- jkdas. (2010). *lkj*. Recuperado de: <http://www.adaaaa.com>
- Kosmatka , S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Skokie, Illinois : Portland Cement Association .
- Martínez, B. (2014). *Consideraciones sobre la relación agua/cemento* . Recuperado de: http://www.frupesa.com/uploads/media/Relaci%F3n_agua-cemento.pdf
- McCormac , J., & Brown , R. (2011). *Diseño de Concreto Reforzado* . In J. McCormac, & R. Brown, *Diseño de Concreto Reforzado* (pp. 1-3). México : Alfaomega .
- MERLO CONSTRUCTION. (2017). *What is Fiber-Reinforced Concrete?* Recuperado de: <https://www.merloconstructionmi.com/fiber-reinforced-concrete/>
- Moreno, E., & Fernández, M. (1997). *Dosificación de hormigón reforzado con fibras de acero* . España .
- National Ready Mixed Concrete Association . (2008). *Resistencia a flexión del concreto* . Recuperado de: *Resistencia a flexión del concreto* : <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP16es.pdf>
- National Ready Mixed Concrete Association . (2013). *Prueba de resistencia a la compresión del concreto*. Recuperado de: <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP35es.pdf>
- Nilson, A. (2001). *Diseño de estructuras de concreto* . Colombia : McGraw-Hill Interamericana S.A.
- Passada, M., González, Á., Violini, D., & Pappalardi, M. (2012). *Desarrollo e implementación de un hormigón reforzado con fibras sintéticas para la repavimentación de la ruta 24 de Uruguay*. Recuperado de: http://www.cavellaneda.com.ar/pdf_publicaciones/CA_ca_publicacion_009pdf_13.pdf
- Pereyra, M. (2015). *Módulo de deformación del hormigón*. Recuperado de: <https://www.fing.edu.uy/sites/default/files/2015/24560/MNPereyra%20-%20M%C3%B3dulo.pdf>

- Rojas , N. A. (2017). *DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA ABSORBIDA DE HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS MEDIANTE EL ENSAYO DE PANELES EFNARC*. Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Romea, C. (2012). *Ductilidad de secciones de concreto armado* . Recuperado de:
<https://docplayer.es/63769726-Ductilidad-de-secciones-de-concreto-hormigon-armado.html>
- SIDETUR . (2011). El acero de refuerzo en las vigas de concreto . *Acero al día* , 1-4.
- SIKA. (2014). *Concreto reforzado con fibras* . Recuperado de:
<https://col.sika.com/.../Concreto%20reforzado%20con%20fibras.pdf>

XIV. ANEXOS

14.1 Anexo de materiales 14.1.1 Ficha técnica fibra Euclid

The Euclid Chemical Company

TUF-STRAND SF

MACRO SYNTHETIC FIBER



EUCLID CHEMICAL

DESCRIPTION

TUF-STRAND SF is a patented polypropylene / polyethylene macro synthetic fiber successfully used to replace steel fibers, welded wire mesh and conventional reinforcing bars in a wide variety of applications. TUF-STRAND SF fibers comply with ASTM C1116, Standard Specification for Fiber Reinforced Concrete and Shotcrete, and are specifically designed to provide equivalent tensile and bending resistance to conventional reinforcement requirements. Concrete reinforced with TUF-STRAND SF will have three-dimensional reinforcing with enhanced flexural toughness, impact and abrasion resistance and will also help mitigate the formation of plastic shrinkage cracking in concrete. Dosage rates will vary depending upon the reinforcing requirements and can range from 3.0 lbs/yd³ (1.8 kg/m³) to 20 lbs/yd (12 kg/m³). TUF-STRAND SF synthetic macro-fibers comply with applicable portions of the International Code Council (ICC) Acceptance Criteria AC32 for synthetic fibers, are UL certified for composite metal deck construction and are recognized within ACI 360 and SDI/ANSI-C1.0 as an alternative reinforcement.

PRIMARY APPLICATIONS

- Slab on Grade and elevated construction (distribution centers, warehouses, etc.)
- Thin walled pre-cast (septic tanks, vaults, walls, etc.)
- Shotcrete for tunnel linings, pool construction and slope stabilization
- Pavements and white-toppings

FEATURES/BENEFITS

- Equivalent strengths to WWM and rebar provided by engineering calculations
- Controls and mitigates plastic shrinkage cracking and reduces segregation and bleed-water
- Provides three-dimensional reinforcement against micro and macro-cracking
- Reduces equipment wear, fiber rebound and increases build-up thickness compared to steel fibers for shotcrete applications
- Increases overall durability, fatigue resistance and flexural toughness
- Reduction of in-place cost versus wire mesh for temperature / shrinkage crack control
- Easily added to concrete mixture at any time prior to placement
- Tested in accordance with ASTM C 1399, C 1550, C 1609 and C 1018
- Applicable for design by ACI 360 R-10
- Certified for use by UL/ULC for D900 Series metal deck assemblies as alternate to WWF (CBXQ.R13773)

TECHNICAL INFORMATION

Typical Engineering Data

Material	polypropylene/polyethylene blend	Modulus of Elasticity (EN 14889.2)...	1380 ksi (9.5 GPa)
Specific Gravity	0.92	Melt Point	320°F (160°C)
Typical dosage rates	3 to 20 lbs/yd ³ (1.8 to 12 kg/m ³)	Electrical and Thermal Conductivity.....	low
Available lengths.....	2" (51 mm)	Water Absorption	negligible
Aspect Ratio	74	Acid and Alkali Resistance	excellent
Tensile Strength	87-94 ksi (600 to 650 MPa)	Color	white

PACKAGING

TUF-STRAND SF fibers are packaged in 3.0 lb (1.36 kg), 4.0 lb (1.81 kg) and 5.0 lb (2.27 kg) water soluble bags.

SHELF LIFE

3 years in original, unopened package.

FIBER PRODUCTS

TUF-STRAND SF

MASTER FORMAT #:
03 24 00

19215 Redwood Road • Cleveland, OH 44110
800-321-7628 t • 216-531-9596 f

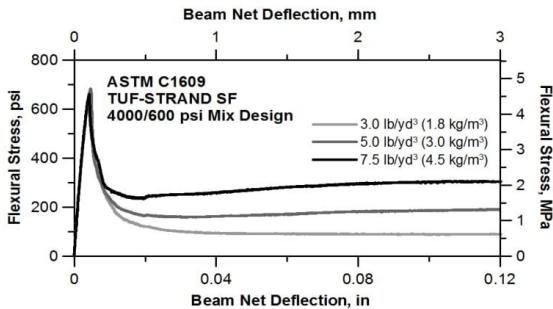
www.euclidchemical.com

DIRECTIONS FOR USE

TUF-STRAND SF fibers can be added to the concrete mixture at any time prior to placement of the concrete. It is generally recommended to add any fiber material at the ready-mix concrete plant during batching. Fibers must be mixed with concrete for a minimum of three (3) to five (5) minutes at maximum mixing speed, depending on the mixer type, to ensure complete dispersion and uniformity. When adding 3 to 5 lbs/yd³ (1.8 to 3 kg/m³), a slump loss of up to 2" (50 mm) can be expected for a typical ready-mix concrete design. For dosages of 6 to 12 lbs/yd³ (4 to 7 kg/m³), a slump loss of 3 to 5 in (75 to 125 mm) can be expected. The use of water reducers and/or superplasticizers, such as Eucon 1037, Eucon MRX or the Plastol series of admixtures may be necessary to maintain desired workability.

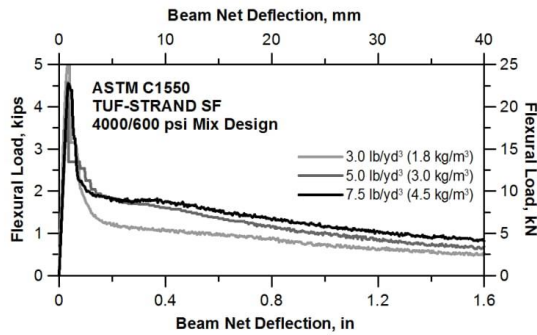
Add other admixtures independently from fiber addition. TUF-STRAND SF is compatible with all Euclid Chemical admixtures. When used properly, and placed in a concrete mix of sufficient workability, the fibers will not adversely alter the compressive or flexural strength of concrete or shotcrete.

Fiber-reinforced concrete (FRC) is characterized by standard test methods such as ASTM C1399, C1609, and C1550 or RILEM TC162 (EN14651). The flexural residual strength of FRC is measured using these beam tests and is used for design purposes with proper conversion factors. Typical test results for ASTM C1609 (FRC beam) and C1550 (FRC round panel) are shown for TUF-STRAND SF macro synthetic fiber tested at different dosage rates. These test results could vary with mix design and curing conditions.



Dosage	f_{es}	R_{es}
lb/yd ³ (kg/m ³)	psi (MPa)	%
3.0 (1.8)	128 (0.9)	22±3
5.0 (3.0)	203 (1.4)	30±2
7.5 (4.5)	288 (2.0)	44±4

(Typical Data)



Dosage	Energy (J) at Deflection (mm)				
lb/yd ³ (kg/m ³)	5	10	20	30	40
3.0 (1.8)	43	67	109	144	171
5.0 (3.0)	48	83	138	178	208
7.5 (4.5)	58	107	190	254	302

(Typical Data)

CLEAN-UP

Loose fiber material may be disposed in proper receptacles for refuse. Finishing equipment with fibers embedded in concrete should be thoroughly cleaned.

PRECAUTIONS/LIMITATIONS

- Use of fibers may cause an apparent loss in measured slump of concrete. This may be offset with the use of a water reducing admixture if necessary.
- Fibers should never be added to a "zero-slump" concrete. Ensure a minimum concrete slump of 3" (80 mm) prior to addition of any fiber material. Fibers may also be added in loose form to aggregate charging devices.
- In all cases, consult the Safety Data Sheet before use.

Rev. 11.14

WARRANTY: The Euclid Chemical Company ("Euclid") solely and expressly warrants that its products shall be free from defects in materials and workmanship for one (1) year from the date of purchase. Unless authorized in writing by an officer of Euclid, no other representations or statements made by Euclid or its representatives, in writing or orally, shall alter this warranty. EUCLID MAKES NO WARRANTIES, IMPLIED OR OTHERWISE, AS TO THE MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR ORDINARY OR PARTICULAR PURPOSES OF ITS PRODUCTS AND EXCLUDES THE SAME. If any Euclid product fails to conform with this warranty, Euclid will replace the product at no cost to Buyer. Replacement of any product shall be the sole and exclusive remedy available and buyer shall have no claim for incidental or consequential damages. Any warranty claim must be made within one (1) year from the date of the claimed breach. Euclid does not authorize anyone on its behalf to make any written or oral statements which in any way alter Euclid's installation information or instructions in its product literature or on its packaging labels. Any installation of Euclid products which fails to conform with such installation information or instructions shall void this warranty. Product demonstrations, if any, are done for illustrative purposes only and do not constitute a warranty or warranty alteration of any kind. Buyer shall be solely responsible for determining the suitability of Euclid's products for the Buyer's intended purposes.

14.1.2 Ficha técnica glenium



3	03 30 00	Concreto colado in situ
	03 40 00	Concreto prefabricado
	03 70 00	Concreto masivo

MasterGlenium® 3020

Aditivo reductor de agua de alto rango

Glenium® 3020*

Descripción

MasterGlenium 3020 es un aditivo reductor de agua de alto rango listo para su uso que pertenece a una nueva generación de aditivos patentados basados en la tecnología de policarboxilato. Es muy efectivo en la producción de concreto con diferentes grados de trabajabilidad incluyendo aplicaciones que requieren concreto autoconsolidable (SCC).

MasterGlenium 3020 cumple con los requisitos de la norma ASTM C 494 para aditivos reductores de agua, Tipo A y aditivos reductores de agua de alto rango, Tipo F.

Usos recomendados

- Concreto donde se requieran tiempos de fraguado normales hasta acelerados
- Concreto que requiera una reducción de agua de 15 a 40%
- Concreto que requiera el desarrollo de resistencias iniciales extremadamente altas (prefabricados, rápidas reparaciones de pavimentos)
- Concreto que requiera una alta fluidez y mayor durabilidad
- Producción de mezclas de concreto autoconsolidables (SCC)

Características

- Menor contenido de agua para una determinada trabajabilidad
- Reducción lineal de agua en todo el rango de dosificación recomendado
- Puede usarse en una amplia variedad de mezclas de concreto que requieren aditivos Tipo A o Tipo F
- Reología controlada
- Desarrollo de resistencia inicial extremadamente alta

Beneficios

- Produce concretos cohesivos y sin segregación
- Reduce o elimina la necesidad de vibración y curado por vapor
- Incrementa la productividad de las operaciones de prefabricados
- Permite el paso del tráfico más rápido para las reparaciones de pavimentos de concreto
- Reducción de costos de construcción debido a una mayor productividad
- Incrementa la vida de servicio de las estructuras

Desempeño

Mantenimiento del revenimiento: El aditivo MasterGlenium 3020 ha sido desarrollado para obtener una resistencia inicial extremadamente alta en el concreto. En consecuencia, el asentamiento del concreto con este aditivo se mantiene por menos tiempo que el concreto tratado con aditivos reductores de agua de alto rango convencionales o con el concreto sin tratar. Para facilitar la colocación, el concreto con aditivo MasterGlenium 3020 se debe colocar en un lapso de veinte minutos después de su adición.

Con el uso de un aditivo retardador o del aditivo de control de fraguado extenso MasterSet® DELVO se puede mantener el asentamiento del concreto tratado con MasterGlenium 3020. Se recomienda realizar pruebas de campo para asegurar que se puede lograr el asentamiento deseado por un tiempo especificado.

Recomendaciones de uso

Dosificación: El rango de dosificación recomendado para MasterGlenium 3020 es de 200 – 800 mL/100 kg del material cementicio para la mayoría de las mezclas de concreto. Debido a las variaciones de los materiales de concreto, condiciones de la obra y/o aplicaciones, se podrán requerir rangos de dosificación diferentes a los recomendados.

MASTER®
» BUILDERS
SOLUTIONS

En tales casos, casos contacte a su representante de ventas de BASF.

Mezclado: Para obtener un mayor tiempo de manejabilidad, deberá dosificar el aditivo MasterGlenium 3020 en la obra en forma tardía. Puede adicionar MasterGlenium 3020 con el agua inicial del lote si el concreto se va a colocar inmediatamente después del mezclado.

Colocación del concreto: El concreto que contiene MasterGlenium 3020 puede colocarse usando los métodos convencionales de colocación. La colocación debe ser continua y sin interrupción.

Consideraciones

Corrosividad, No contiene Cloruros, No Corrosivo: El aditivo MasterGlenium 3020 no iniciará ni promoverá la corrosión del acero de refuerzo embebido en el concreto, en el concreto preesforzado o concreto colocado en sistemas de techos y pisos de acero galvanizado. En la manufactura de este aditivo no se ha añadido cloruro de calcio ni ingredientes a base de cloruros adicionados intencionalmente.

En todas las aplicaciones de concreto, el aditivo MasterGlenium 3020 cumple con los límites mínimos o más estrictos para ión de cloruro sugeridos normalmente por los estándares y prácticas de la industria de la construcción.

Compatibilidad: MasterGlenium 3020 es compatible con la mayoría de aditivos usados en la producción de concreto incluyendo otros aditivos reductores de agua de rango normal, medio y alto, inclusores de aire, acelerantes, retardantes, aditivos para control de fraguado extenso, inhibidores de la corrosión y reductores de retracción.

MasterGlenium 3020 también es compatible con la escoria y puzolanas como la ceniza volante y microsilica. No utilice MasterGlenium 3020 en combinación con aditivos que contengan sulfonato de beta-naftaleno, ya que pueden ocurrir comportamientos erráticos con el revenimiento y el bombeado.

Almacenamiento y manejo

Temperatura de almacenamiento: MasterGlenium 3020 debe almacenarse a temperaturas superiores de 5 °C. Si MasterGlenium 3020 se congela, descongele y homogeneice el producto con una agitación mecánica ligera. **No use aire presurizado para agitar.**

Vida útil: MasterGlenium 3020 tiene una vida útil de 6 meses como mínimo. Dependiendo de las condiciones de almacenamiento, la vida útil puede ser mayor.

Presentación

MasterGlenium 3020 se suministra en tambores de 200 L (53 gal), en totes de 1,000 L (264 gal) y a granel.

Documentos Relacionados

Hoja de Datos de Seguridad (SDS): MasterGlenium 3020.

Información Adicional

Para obtener información adicional sobre el aditivo MasterGlenium 3020 o su uso en el desarrollo de mezclas de concreto con características de desempeño especiales, entre en contacto con su representante de ventas de BASF.

La división de Construction Chemicals de BASF es el proveedor líder en soluciones para mejorar las características de colocación, bombeo, acabado y apariencia del concreto de alto desempeño usado en los mercados de premezclados, prefabricados, productos manufacturados de concreto, construcción subterránea y de pavimentos. Por más de 100 años hemos ofrecido productos confiables y tecnologías innovadoras y ahora conectamos a través de la marca Master Builders Solutions el conocimiento y experiencia mundial de profesionales en muchos campos para proporcionar soluciones sustentables a la industria de la construcción.

14.1.3 Ficha técnica polyheed



3	03 30 00	Concreto colado in situ
	03 40 00	Concreto prefabricado
	03 70 00	Concreto masivo

MasterPolyheed® 789

Aditivo reductor de agua de medio rango y retardante

Polyheed® 789*

Descripción

MasterPolyheed 789 es un aditivo líquido, listo para su uso, reductor de agua de medio rango que mantiene su trabajabilidad en ambientes con altas temperaturas. MasterPolyheed 789 cumple con los requisitos de la norma ASTM C-494 Tipo B y D, AASHTO M 194 y CRD C-87.

Usos recomendados

- Concreto donde se requiera extender el tiempo de fraguado y la trabajabilidad
- Concreto donde se requiera un rango de revenimiento medio de 15 a 20 cm (6 a 8 in)
- Mezclas de concreto con una amplia variedad de cementos tipo portland o adicionados
- Concretos compactados con rodillo para la construcción de presas y pavimentos
- Mezcla de suelos de cemento con tiempo extendido de inicio de fragüe

Características

- Reduce la segregación en concretos de altos revenimientos.
- Reducción de agua de 12 al 20 % y excelente desempeño en un amplio rango de revenimientos, especialmente de 10 a 20 cm (4 a 8 in).
- Mejora las características de trabajabilidad, bombeado y acabado aún en mezclas de concreto con bajas cantidades de material cementante.
- Características de fraguado moderadamente retardado en las dosis recomendadas.

Beneficios

- Mejor desempeño con una amplia variedad de cementos, cenizas volantes, escorias de alto horno y agregados, incluyendo arenas gruesas o de trituración.
- Mejor resistencia al daño por los ciclos de congelamiento y deshielo.
- Incremento en el desarrollo de resistencia a compresión y flexión durante su vida útil.

Desempeño

Datos técnicos

Estado físico	Líquido
Color	Café oscuro
Densidad, 25 °C (77 °F)	1.14 ± 0.014 g/ml
pH	10 ± 1

Recomendaciones de uso

Dosificación: El rango de dosificación recomendado para el aditivo MasterPolyheed 789 es de 400 a 800 mL por 100 kg de material cementicio (6 a 12 oz fl por 100 lb de material cementicio) en los concretos convencionales. En el caso de mezclas con bajos contenidos de cementos y compactados con rodillos, la dosificación puede variar de 400 a 1,800 mL por 100 kg de material cementicio (6 a 28 oz fl por 100 lb) según el retardo de fraguado inicial y final deseado. Para usar otras dosificaciones que estén fuera del rango recomendado consulte a su representante de ventas de BASF.

MASTER®
» BUILDERS
SOLUTIONS

Consideraciones

Corrosividad. No corrosivo, No contiene cloruros: MasterPolyheed 789 no iniciará o promoverá la corrosión del acero de refuerzo en el concreto. En la manufactura de este aditivo no se añadió cloruro de calcio ni ingredientes a base de cloruro adicionados intencionalmente.

Compatibilidad: MasterPolyheed 789 puede utilizarse en combinación con cualquier otro aditivo de BASF. Cuando se usa con otros aditivos, cada uno deberá dosificarse a la mezcla en forma separada. MasterPolyheed 789 puede utilizarse con aditivos inclusores de aire siempre que satisfagan las especificaciones ASTM, AASHTO y CRD.

La división de Construction Chemicals de BASF es el proveedor líder en soluciones para mejorar las características de colocación, bombeo, acabado y apariencia del concreto de alto desempeño usado en los mercados de premezclados, prefabricados, productos manufacturados de concreto, construcción subterránea y de pavimentos. Por más de 100 años hemos ofrecido productos confiables y tecnologías innovadoras y ahora conectamos a través de la marca Master Builders Solutions el conocimiento y experiencia mundial de profesionales en muchos campos para proporcionar soluciones sustentables a la industria de la construcción.

Almacenamiento y manejo

Temperatura de almacenamiento: MasterPolyheed 789 debe almacenarse a temperaturas superiores a 0 °C (32 °F) en sus recipientes originales sellados. Si el aditivo MasterPolyheed 789 se congela, descongele a 2 °C (35 °F) o más y homogeneice el producto por completo con agitación mecánica ligera. **No use aire presurizado para agitar.**

Vida útil: MasterPolyheed 789 tiene una vida útil de 18 meses como mínimo. Dependiendo de las condiciones de almacenamiento, esta puede ser mayor.

Seguridad: MasterPolyheed 789 no contiene sustancias peligrosas que deban indicarse en la etiqueta. Se usa con seguridad siguiendo las precauciones estándares para la industria de la construcción como, guantes y lentes de seguridad.

Presentación

MasterPolyheed 789 se suministra en tambores de 208 L o a granel.

Documentos Relacionados

Hoja de Datos de Seguridad (SDS): MasterPolyheed 789.

Información Adicional

Para obtener información adicional sobre el aditivo MasterPolyheed 789 o su uso en el desarrollo de mezclas de concreto con características de desempeño especiales, entre en contacto con su representante de ventas de BASF.

14.2 Anexo de gráficos y ensayos

14.2.1 Resultados de la resistencia a la compresión

Resultados de resistencia a la compresión a la edad de 7 y 28 días de cilindros con 6 kg/m³ de macrofibras de polipropileno.



CEMENTOS PROGRESO, S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181



Fecha impresión: 2018.08.01
Página: 1 de 1
Usuario: DVILLATORO
OT: 32160-4
Fecha OT: 2018.07.08

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO.	Proyecto: TRABAJO DE TESIS UVG
Dirección: 15 AV. 18-01 Z-6 FINCA LA PEDRERA	Dirección: TRABAJO DE TESIS UVG
Contacto: ESTUARDO HERRERA/ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono: 22864100	Analista: DELBERT VILLATORO

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm ²)	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm ²)	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1	6KG/M3 POLIPROP	32160-4-01	CILINDROS	2018.07.03	2018.07.10	7	-----	3.00	3.71	8012	270.8	33.8	4900	2
2	6KG/M3 POLIPROP	32160-4-02	CILINDROS	2018.07.03	2018.07.10	7	-----	3.00	3.92	8091	259.3	32.0	4650	2
3	6KG/M3 POLIPROP	32160-4-03	CILINDROS	2018.07.03	2018.07.31	28	-----	3.00	3.91	8091	340.6	42.1	6110	2
4	6KG/M3 POLIPROP	32160-4-04	CILINDROS	2018.07.03	2018.07.31	28	-----	3.00	3.93	8091	331.1	40.9	5940	2

T. Rot: 1 = Cónica; 2 = Cónica y vertical; 3 = Columnar; 4 = Diagonal; 5 = Fractura en los extremos;
6 = Similar tipo 5 pero extremo puntiagudo

Observaciones: MUESTREO REALIZADO POR EL CLIENTE. AIRRE = 2.5, MASA UNITARIA = 2355KG/M3, TEMPERATURA = 24 °C


Analista


Jefe Laboratorio/Coordinador

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06

Resultados de resistencia a la compresión a la edad de 7 y 28 días de cilindros con 5 kg/m³ de macrofibras de polipropileno.



CEMENTOS PROGRESO, S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181



Fecha impresión: 2018.08.01
Página: 1 de 1
Usuario: DVILLATORO
OT: 32160-3
Fecha OT: 2018.07.08

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO.	Proyecto: TRABAJO DE TESIS UVG
Dirección: 15 AV. 18-01 Z-6 FINCA LA PEDRERA	Dirección: TRABAJO DE TESIS UVG
Contacto: ESTUARDO HERRERA/ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono: 22864100	Analista: DELBERT VILLATORO

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPÉCIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm ²)	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm ²)	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1	5KG/M3 POLIPROP	32160-3-01	CILINDROS	2018.07.03	2018.07.10	7	-----	6.50	3.94	8091	264.5	32.7	4740	5
2	5KG/M3 POLIPROP	32160-3-02	CILINDROS	2018.07.03	2018.07.10	7	-----	6.50	3.95	8091	251.6	31.1	4510	2
3	5KG/M3 POLIPROP	32160-3-03	CILINDROS	2018.07.03	2018.07.31	28	-----	6.50	3.93	8091	312.0	38.6	5590	2
4	5KG/M3 POLIPROP	32160-3-04	CILINDROS	2018.07.03	2018.07.31	28	-----	6.50	3.92	8091	310.2	38.3	5560	2

T. Rot: 1 = Cónica; 2 = Cónica y vertical; 3 = Columnar; 4 = Diagonal; 5 = Fractura en los extremos; 6 = Similar tipo 5 pero extremo puntiagudo

Observaciones: MUESTREO REALIZADO POR EL CLIENTE. AIRRE = 1.9, MASA UNITARIA = 2367KG/M3, TEMPERATURA = 24 °C


Analista


Jefe Laboratorio/Coordinador

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06

Resultados de resistencia a la compresión a la edad de 7 y 28 días de cilindros con 4 kg/m³ de macrofibras de polipropileno.



CEMENTOS PROGRESO, S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181



Fecha impresión: 2018.08.01
Página: 1 de 1
Usuario: DVILLATORO
OT: 32160-2
Fecha OT: 2018.07.08

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO.	Proyecto: TRABAJO DE TESIS UVG
Dirección: 15 AV. 18-01 Z-6 FINCA LA PEDRERA	Dirección: TRABAJO DE TESIS UVG
Contacto: ESTUARDO HERRERA/ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono: 22864100	Analista: DELBERT VILLATORO

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm ²)	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm ²)	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1	4KG/M3 POLIPROP	32160-2-01	CILINDROS	2018.07.03	2018.07.10	7	-----	6.50	3.95	8091	277.3	34.3	4970	5
2	4KG/M3 POLIPROP	32160-2-02	CILINDROS	2018.07.03	2018.07.10	7	-----	6.50	3.96	8091	253.7	31.4	4550	5
3	4KG/M3 POLIPROP	32160-2-03	CILINDROS	2018.07.03	2018.07.31	28	-----	6.50	3.73	8091	368.8	45.6	6610	2
4	4KG/M3 POLIPROP	32160-2-04	CILINDROS	2018.07.03	2018.07.31	28	-----	6.50	3.91	8091	346.2	42.8	6210	2

T. Rot: 1 = Cónica; 2 = Cónica y vertical; 3 = Columnar; 4 = Diagonal; 5 = Fractura en los extremos; 6 = Similar tipo 5 pero extremo puntiagudo

Observaciones: MUESTREO REALIZADO POR EL CLIENTE. AIRRE = 2.4, MASA UNITARIA = 2349KG/M3, TEMPERATURA = 24 °C

Analista

Jefe Laboratorio/Coordinador

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06

Resultados de resistencia a la compresión a la edad de 7 y 28 días de cilindros elaborados con la mezcla control.



CEMENTOS PROGRESO, S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181



Fecha impresión: 2018.08.01
Página: 1 de 1
Usuario: DVILLATORO
OT: 32160-1
Fecha OT: 2018.07.08

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO.	Proyecto: TRABAJO DE TESIS UVG
Dirección: 15 AV. 18-01 Z-6 FINCA LA PEDRERA	Dirección: TRABAJO DE TESIS UVG
Contacto: ESTUARDO HERRERA/ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono: 22864100	Analista: DELBERT VILLATORO

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm ²)	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm ²)	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1	MEZCLA CONTROL	32160-1-01	CILINDROS	2018.07.03	2018.07.10	7	-----	5.50	3.95	8012	276.4	34.5	5000	5
2	MEZCLA CONTROL	32160-1-02	CILINDROS	2018.07.03	2018.07.10	7	-----	5.50	3.95	8091	280.7	34.7	5030	2
3	MEZCLA CONTROL	32160-1-03	CILINDROS	2018.07.03	2018.07.31	28	-----	5.50	3.81	8091	343.5	42.5	6160	2
4	MEZCLA CONTROL	32160-1-04	CILINDROS	2018.07.03	2018.07.31	28	-----	5.50	3.78	8091	356.2	44.0	6390	2

T. Rot: 1 = Cónica; 2 = Cónica y vertical; 3 = Columnar; 4 = Diagonal; 5 = Fractura en los extremos; 6 = Similar tipo 5 pero extremo puntiagudo

Observaciones: MUESTREO REALIZADO POR EL CLIENTE. AIRRE = 1.6, MASA UNITARIA = 2386KG/M3, TEMPERATURA = 24 °C


Analista



Jefe Laboratorio/Coordinador

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06

14.2.2 Resultados de la resistencia a flexión


Resultados de la resistencia a la flexión a los 7 días de edad para las vigas elaboradas con 6kg/m^3 de macrofibras de polipileno.

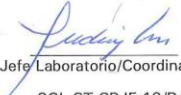
 cementos PROGRESO® Compartimos Sueños. Construimos Realidades.		CEMENTOS PROGRESO, S.A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181				Fecha impresión: 2018.07.23 Página: 1 de 1 Usuario: WAIFAN OT: 32160-4-4 Fecha OT: 2018.07.08					
INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A FLEXIÓN CON DOS PUNTOS DE CARGA - NORMA NTG 41017 h2											
Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO.				Proyecto: TRABAJO DE TESIS UVG							
Dirección: 15 AV. 18-01 Z-6 FINCA LA PEDRERA				Dirección: TRABAJO DE TESIS UVG							
Contacto: ESTUARDO HERRERA/ARIEL OSORIO				Muestra: VIGA							
Teléfono: 22864100				Analista: WILSON AIFAN							
No.	Id. Cliente	Identificación Especimen	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Masa (kg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Módulo Rotura (N/mm ²)	Módulo Rotura (kg/cm ²)
1	6KG/M3 POLIPROP	32160-4-4-01	2018.07.03	2018.07.10	7	29.69	540	150	154	3.97	40.52
2	6KG/M3 POLIPROP	32160-4-4-02	2018.07.03	2018.07.10	7	29.29	540	148	157	4.34	44.24


Observaciones: MUESTREO REALIZADO POR EL CLIENTE. AIRRE = 2.5, MASA UNITARIA = 2355KG/M3, TEMPERATURA = 24 °C

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

No. 13511 CETEC


 Analista


 Jefe Laboratorio/Coordinador



SGL-CT-CP-IE-10/Rev.04

Resultados de la resistencia a la flexión a los 7 días de edad para las vigas elaboradas con 5kg/m³ de macrofibras de polipropileno.



CEMENTOS PROGRESO, S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera

Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181

INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A FLEXIÓN
CON DOS PUNTOS DE CARGA - NORMA NTG 41017 h2

Fecha impresión: 2018.07.23

Página: 1 de 1

Usuario: WAIFAN

OT: 32160-3-3

Fecha OT: 2018.07.08

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO.	Proyecto: TRABAJO DE TESIS UVG
Dirección: 15 AV. 18-01 Z-6 FINCA LA PEDRERA	Dirección: TRABAJO DE TESIS UVG
Contacto: ESTUARDO HERRERA/ARIEL OSORIO	Muestra: VIGA
Teléfono: 22864100	Analista: WILSON AIFAN

No.	Id. Cliente	Identificación Especimen	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Masa (kg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Módulo Rotura (N/mm ²)	Módulo Rotura (kg/cm ²)
1	5KG/M3 POLIPROP	32160-3-3-01	2018.07.03	2018.07.10	7	29.34	540	149	155	4.35	44.38
2	5KG/M3 POLIPROP	32160-3-3-02	2018.07.03	2018.07.10	7	29.41	537	150	154	4.63	47.23

No. 13510 CETEC

Observaciones: MUESTREO REALIZADO POR EL CLIENTE. AIRRE = 2.4, MASA UNITARIA = 2349KG/M3, TEMPERATURA = 24 °C


Analista


Jefe Laboratorio/Coordinador

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

SGL-CT-CP-IE-10/Rev.04



Resultados de la resistencia a la flexión a los 7 días de edad para las vigas elaboradas con 4kg/m³ de macrofibras de polipropileno.



CEMENTOS PROGRESO, S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181

Fecha impresión: 2018.07.23
Página: 1 de 1
Usuario: WAIFAN
OT: 32160-2-2
Fecha OT: 2018.07.08

**INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A FLEXIÓN
CON DOS PUNTOS DE CARGA - NORMA NTG 41017 h2**

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO.	Proyecto: TRABAJO DE TESIS UVG
Dirección: 15 AV. 18-01 Z-6 FINCA LA PEDRERA	Dirección: TRABAJO DE TESIS UVG
Contacto: ESTUARDO HERRERA/ARIEL OSORIO	Muestra: VIGA
Teléfono: 22864100	Analista: WILSON AIFAN

No.	Id. Cliente	Identificación Especimen	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Masa (kg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Módulo Rotura (N/mm ²)	Módulo Rotura (kg/cm ²)
1	4KG/M3 POLIPROP	32160-2-2-01	2018.07.03	2018.07.10	7	29.42	537	148	156	3.96	40.42
2	4KG/M3 POLIPROP	32160-2-2-02	2018.07.03	2018.07.10	7	29.33	540	149	154	4.43	45.13

No. 13509 CETEC

Observaciones: MUESTREO REALIZADO POR EL CLIENTE. AIRRE = 2.4, MASA UNITARIA = 2349KG/M3, TEMPERATURA = 24 °C


Analista


Jefe Laboratorio/Coordinador

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

SGL-CT-CP-IE-10/Rev.04



Resultados de la resistencia a la flexión a los 7 días de edad para las vigas elaboradas con la mezcla control



CEMENTOS PROGRESO, S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181

Fecha impresión: 2018.07.23
Página: 1 de 1
Usuario: WAIFAN
OT: 32160-1-1
Fecha OT: 2018.07.08

**INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A FLEXIÓN
CON DOS PUNTOS DE CARGA - NORMA NTG 41017 h2**

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO.	Proyecto: TRABAJO DE TESIS UVG
Dirección: 15 AV. 18-01 Z-6 FINCA LA PEDRERA	Dirección: TRABAJO DE TESIS UVG
Contacto: ESTUARDO HERRERA/ARIEL OSORIO	Muestra: VIGA
Teléfono: 22864100	Analista: WILSON AIFAN

No.	Id. Cliente	Identificación Especimen	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Masa (kg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Módulo Rotura (N/mm ²)	Módulo Rotura (kg/cm ²)
1	MEZCLA CONTROL	32160-1-1-01	2018.07.03	2018.07.10	7	29.49	540	149	154	4.19	42.72
2	MEZCLA CONTROL	32160-1-1-02	2018.07.03	2018.07.10	7	29.41	542	149	154	4.19	42.69

No. 13508 CETEC

Observaciones: MUESTREO REALIZADO POR EL CLIENTE. AIRRE = 1.6, MASA UNITARIA = 2386KG/M3, TEMPERATURA = 24 °C

[Signature]
Analista

[Signature]
Jefe Laboratorio/Coordinador



Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

SGL-CT-CP-IE-10/Rev.04

Resultados de la resistencia a la flexión a los 28 días de edad para las vigas elaboradas con la mezcla control.



CEMENTOS PROGRESO, S.A.
 CENTRO TECNOLÓGICO
 15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
 Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181
**INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A FLEXIÓN
 CON DOS PUNTOS DE CARGA - NORMA NTG 41017 h2**

Fecha impresión: 2018.08.03
 Página: 1 de 1
 Usuario: EBARRIOS
 OT: 32160
 Fecha OT: 2018.07.04

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO.	Proyecto: TRABAJO DE TESIS UVG
Dirección: 15 AV. 18-01 Z-6 FINCA LA PEDRERA	Dirección: CETEC
Contacto: ESTUARDO HERRERA/ARIEL OSORIO	Muestra: VIGAS
Teléfono: 22864100	Analista: EDWIN BARRIOS

No.	Id. Cliente	Identificación Especimen	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Masa (kg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Módulo Rotura (N/mm ²)	Módulo Rotura (kg/cm ²)
1	MEZCLA NO. 1	32160-1 A	2018.07.03	2018.07.31	28	29.70	537	151	154	5.34	54.43
2	MEZCLA NO. 1	32160-1 B	2018.07.03	2018.07.31	28	29.44	536	151	153	5.02	51.14

Observaciones: MUESTREO REALIZADO POR LABORATORIO CETEC.


 Analista



 Jefe Laboratorio/Coordinador

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.

SGL-CT-CP-IE-10/Rev.04

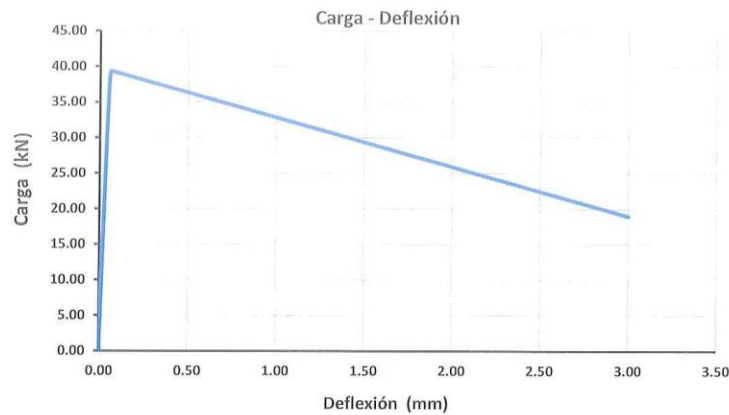
14.2.3 Resultados de la tenacidad

Resultados de la tenacidad para las vigas elaboradas con 6kg/m^3 de macrofibras de polipropileno.

 <p>CEMENTOS PROGRESO Empaques Saco, Contenedores, Pallets</p>		CEMENTOS PROGRESO, S. A.	
		CENTRO TECNOLÓGICO	
		15 Av. 18-01 zona 6, Finca La Pedrera, Ciudad de Guatemala.	
		Tel: 2286-4178 laboratorioceotec@cempro.com	
		Orden de Trabajo:	32160-4 A
		Fecha:	2018-07-04
		Página:	1 De 1
		Impresión:	2018-08-13
Cliente:	CHD / CETEC	Procedencia:	CETEC
Dirección:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA	Muestra:	MEZCLA No. 4
Contacto:	ESTUARDO HERRERA / ARIEL OSORIO	Proyecto:	TRABAJO DE TESIS UVG
Teléfono:	2286-4100	Fecha de Ensayo:	2018-07-31

INFORME DE ENSAYO LABORATORIO DE PREFABRICADOS

Rendimiento a flexión del concreto reforzado con fibra
ASTM C-1609 (12)



Id. Viga :	32160-4 A	Longitud de apoyos : L	450 (mm)	Carga residual :	P^D_{600} - (N)
Tipo de muestra :	Moldeada	Velocidad de deflexión :	0.15 (mm / min)		P^D_{150} 19,000 (N)
Tipo de curado :	Estándar	Carga :	P_1 39,330 (N)	Resistencia residual :	f^D_{600} - (MPa)
Fecha de hechura :	2018-07-03	Primer - pico : Resistencia :	f_1 4.95 (MPa)		f^D_{150} 2.40 (MPa)
Fecha de ensayo :	2018-07-31	Deflexión :	δ_1 0.07 (mm)	Relación equivalente de la resistencia de flexión :	$R^D_{T,150}$ 73.5 (%)
Edad :	28 (días)	Carga :	P_p 39,330 (N)		
Ancho : b	152 (mm)	Máximo - pico : Resistencia :	f_p 4.95 (MPa)	Tenacidad :	T^D_{150} 87 (J)
Espesor : d	153 (mm)	Deflexión :	δ_p 0.07 (mm)		


 Edwin Barrios
 Analista de Laboratorio


 Jefe de Laboratorio / Coordinador

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, el cual está identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratorioceotec@cempro.com.

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente.

Observaciones:

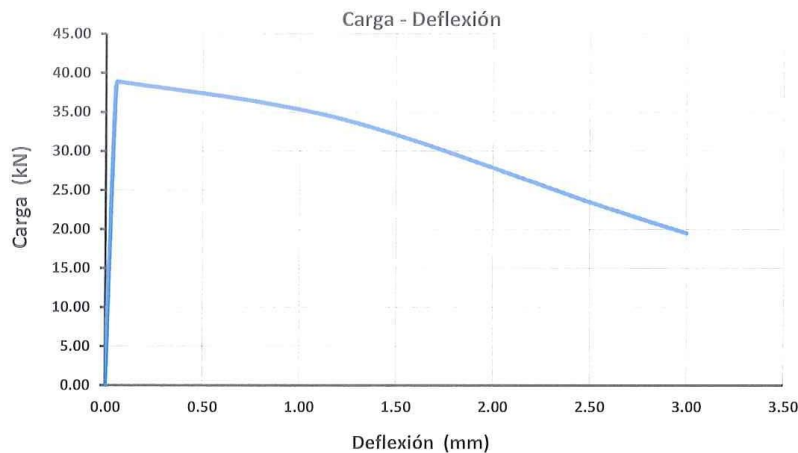
ROTURA SUBITA, NO SE REGISTRÓ LA DEFLEXIÓN EN EL PUNTO P^D_{600} .

 <p>CEMENTOS PROGRESO, S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01 zona 6, Finca La Pedrera, Ciudad de Guatemala. Tel: 2286-4178 laboratoriocefec@cempro.com</p>		Orden de Trabajo:	32160-4 B
		Fecha:	2018-07-04
		Página:	1 De 1
		Impresión:	2018-08-13
Cliente:	CI+D / CETEC	Procedencia:	CETEC
Dirección:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA	Muestra:	MEZCLA No. 4
Contacto:	ESTUARDO HERRERA / ARIEL OSORIO	Proyecto:	TRABAJO DE TESIS UVG
Teléfono:	2286-4100	Fecha de Ensayo:	2018-07-31

INFORME DE ENSAYO

LABORATORIO DE PREFABRICADOS

Rendimiento a flexión del concreto reforzado con fibra
 ASTM C-1609 (12)



Id. Viga :	32160-4 B	Longitud de apoyos : L	450 (mm)	Carga residual :	P^D_{600} - (N)
Tipo de muestra :	Moldeada	Velocidad de deflexión :	0.15 (mm / min)		P^D_{150} 19,500 (N)
Tipo de curado :	Estándar	Carga :	P_1 38,920 (N)	Resistencia residual :	f^D_{600} - (MPa)
Fecha de hechura :	2018-07-03	Primer - pico :	Resistencia : f_1 4.90 (MPa)		f^D_{150} 2.45 (MPa)
Fecha de ensayo :	2018-07-31		Deflexión : δ_1 0.06 (mm)	Relación equivalente de la resistencia de flexión :	$R^D_{T,150}$ 74.5 (%)
Edad :	28 (días)		Carga : P_p 38,920 (N)		
Ancho : b	152 (mm)	Máximo - pico :	Resistencia : f_p 4.90 (MPa)	Tenacidad :	T^D_{150} 87 (J)
Espesor : d	153 (mm)		Deflexión : δ_p 0.06 (mm)		


 Edwin Barrios
 Analista de Laboratorio


 Jefe de Laboratorio / Coordinador

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, el cual está identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente.

Observaciones:

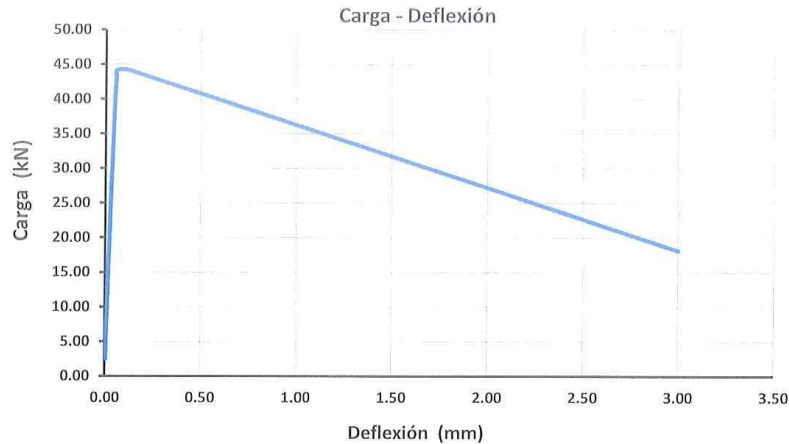
ROTURA SUBITA, NO SE REGISTRÓ LA DEFLEXIÓN EN EL PUNTO P⁶⁰⁰.

Resultados de la tenacidad para las vigas elaboradas con 5kg/m^3 de macrofibras de polipropileno.

	CEMENTOS PROGRESO, S. A.		Orden de Trabajo:	32160-3 A
	CENTRO TECNOLÓGICO		Fecha:	2018-07-04
	15 Ave. 18-01 zona 6, Finca La Pedrera, Ciudad de Guatemala.		Página:	1 De 1
	Tel: 2286-4178 laboratorioctec@cempro.com		Impresión:	2018-08-13
Cliente:	CHD / CETEC	Procedencia:	CETEC	
Dirección:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA	Muestra:	MEZCLA No. 3	
Contacto:	ESTUARDO HERRERA / ARIEL OSORIO	Proyecto:	TRABAJO DE TESIS UVG	
Teléfono:	2286-4100	Fecha de Ensayo:	2018-07-31	

INFORME DE ENSAYO
LABORATORIO DE PREFABRICADOS

Rendimiento a flexión del concreto reforzado con fibra
ASTM C-1609 (12)



Id. Viga :	32160-3 A	Longitud de apoyos : L	450 (mm)	Carga residual :	P^D_{600} - (N)
Tipo de muestra :	Moldeada	Velocidad de deflexión :	0.15 (mm / min)		P^D_{150} 18,180 (N)
Tipo de curado :	Estándar	Carga :	P_1 44,240 (N)	Resistencia residual :	f^D_{600} - (MPa)
Fecha de hechura :	2018-07-03	Primer - pico : Resistencia :	f_1 5.55 (MPa)		f^D_{150} 2.30 (MPa)
Fecha de ensayo :	2018-07-31	Deflexión :	δ_1 0.06 (mm)	Relación equivalente de la resistencia de flexión :	$R^D_{T,150}$ 70.0 (%)
Edad :	28 (días)	Carga :	P_p 44,240 (N)		
Ancho : b	151 (mm)	Máximo - pico : Resistencia :	f_p 5.55 (MPa)	Tenacidad :	T^D_{150} 93 (J)
Espesor : d	154 (mm)	Deflexión :	δ_p 0.06 (mm)		



Edwin Barrios
Analista de Laboratorio


Jefe de Laboratorio / Coordinador

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, el cual está identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com.
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente.

Observaciones:

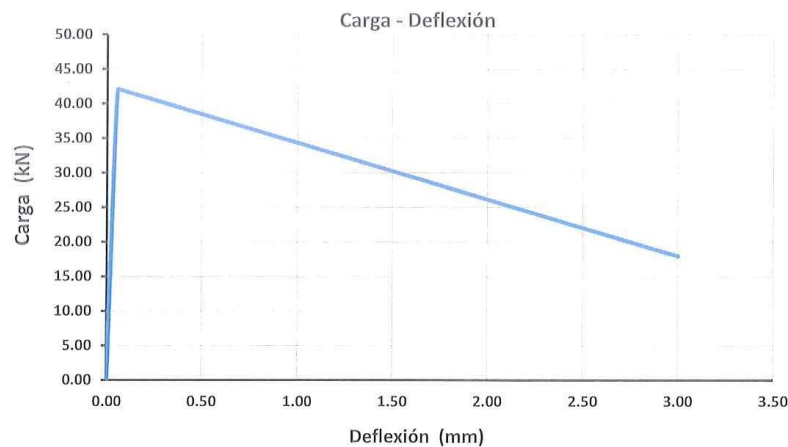
ROTURA SUBITA, NO SE REGISTRÓ LA DEFLEXIÓN EN EL PUNTO P^D_{600} .

 <p style="text-align: center;">CEMENTOS PROGRESO, S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01 zona 6, Finca La Pedrera, Ciudad de Guatemala. Tel: 2286-4178 laboratoriocetec@cempro.com</p>		Orden de Trabajo:	32160-3 B
		Fecha:	2018-07-04
		Página:	1 De 1
		Impresión:	2018-08-13
Cliente:	CI+D / CETEC	Procedencia:	CETEC
Dirección:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA	Muestra:	MEZCLA No. 3
Contacto:	ESTUARDO HERRERA / ARIEL OSORIO	Proyecto:	TRABAJO DE TESIS UVG
Teléfono:	2286-4100	Fecha de Ensayo:	2018-07-31

INFORME DE ENSAYO

LABORATORIO DE PREFABRICADOS

Rendimiento a flexión del concreto reforzado con fibra
ASTM C-1609 (12)



Id. Viga :	32160-3 B	Longitud de apoyos : L	450 (mm)	Carga residual :	P^D_{600} - (N)
Tipo de muestra :	Moldeada	Velocidad de deflexión :	0.15 (mm / min)		P^D_{150} 18,000 (N)
Tipo de curado :	Estándar	Carga :	P_1 42,090 (N)	Resistencia residual :	f^D_{600} - (MPa)
Fecha de hechura :	2018-07-03	Primer - pico :	Resistencia : f_1 5.30 (MPa)		f^D_{150} 2.30 (MPa)
Fecha de ensayo :	2018-07-31		Deflexión : δ_1 0.06 (mm)	Relación equivalente de la resistencia de flexión :	$R^D_{T,150}$ 71.0 (%)
Edad :	28 (días)		Carga : P_p 42,090 (N)		
Ancho : b	152 (mm)	Máximo - pico :	Resistencia : f_p 5.30 (MPa)	Tenacidad :	T^D_{150} 90 (J)
Espesor : d	153 (mm)		Deflexión : δ_p 0.06 (mm)		


 Edwin Barrios
 Analista de Laboratorio


 Jefe de Laboratorio / Coordinador

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, el cual está identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com.
 Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente.

Observaciones:

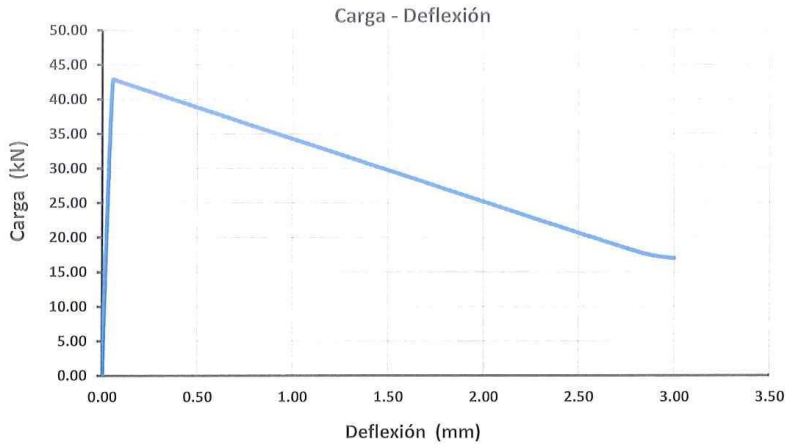
ROTURA SUBITA, NO SE REGISTRÓ LA DEFLEXIÓN EN EL PUNTO P^D600.

Resultados de la tenacidad para las vigas elaboradas con 4kg/m³ de macrofibras de polipropileno.

 <p>CEMENTOS PROGRESO, S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01 zona 6, Finca La Pedrera, Ciudad de Guatemala. Tel: 2286-4178 laboratoriocetec@cempro.com</p>	Orden de Trabajo:	32160-2 A	
	Fecha:	2018-07-04	
	Página:	1 De 1	
	Impresión:	2018-08-13	
Cliente:	CI+D / CETEC	Procedencia:	CETEC
Dirección:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA	Muestra:	MEZCLA No. 2
Contacto:	ESTUARDO HERRERA / ARIEL OSORIO	Proyecto:	TRABAJO DE TESIS UVG
Teléfono:	2286-4100	Fecha de Ensayo:	2018-07-31

INFORME DE ENSAYO
LABORATORIO DE PREFABRICADOS

Rendimiento a flexión del concreto reforzado con fibra
ASTM C-1609 (12)



Id. Viga :	32160-2 A	Longitud de apoyos : L	450 (mm)	Carga residual :	P^D_{600} - (N)
Tipo de muestra :	Moldeada	Velocidad de deflexión :	0.15 (mm / min)		P^D_{150} 17,000 (N)
Tipo de curado :	Estándar	Carga :	P_1 42,750 (N)	Resistencia residual :	f^D_{600} - (MPa)
Fecha de hechura :	2018-07-03	Primer - pico : Resistencia :	f_1 5.40 (MPa)		f^D_{150} 2.15 (MPa)
Fecha de ensayo :	2018-07-31	Deflexión :	δ_1 0.06 (mm)	Relación equivalente de la resistencia de flexión :	$R^D_{T,150}$ 69.5 (%)
Edad :	28 (días)	Carga :	P_p 42,750 (N)		
Ancho : b	152 (mm)	Máximo - pico : Resistencia :	f_p 5.40 (MPa)	Tenacidad :	T^D_{150} 89 (J)
Espesor : d	153 (mm)	Deflexión :	δ_p 0.06 (mm)		


Edwin Barrios
Analista de Laboratorio


Jefe de Laboratorio / Coordinador

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, el cual está identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com.
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente.

Observaciones:

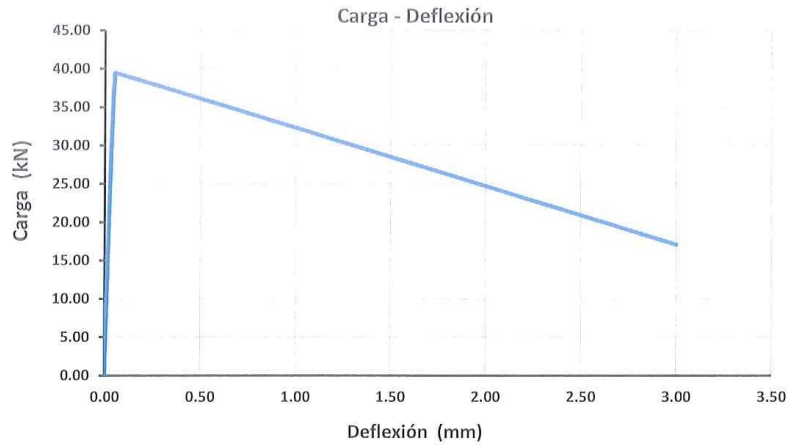
ROTURA SUBITA, NO SE REGISTRÓ LA DEFLEXIÓN EN EL PUNTO P^D600.

 <p style="text-align: center;">CEMENTOS PROGRESO, S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01 zona 6, Finca La Pedrera, Ciudad de Guatemala. Tel: 2286-4178 laboratoriocetec@cempro.com</p>		Orden de Trabajo:	32160-2 B
		Fecha:	2018-07-04
		Página:	1 De 1
		Impresión:	2018-08-13
Cliente:	CI+D / CETEC	Procedencia:	CETEC
Dirección:	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA	Muestra:	MEZCLA No. 2
Contacto:	ESTUARDO HERRERA / ARIEL OSORIO	Proyecto:	TRABAJO DE TESIS UVG
Teléfono:	2286-4100	Fecha de Ensayo:	2018-07-31

INFORME DE ENSAYO

LABORATORIO DE PREFABRICADOS

Rendimiento a flexión del concreto reforzado con fibra
ASTM C-1609 (12)



Id. Viga :	32160-2 B	Longitud de apoyos : L	450 (mm)	Carga residual :	P^D_{600} - (N)
Tipo de muestra :	Moldeada	Velocidad de deflexión :	0.15 (mm / min)		P^D_{150} 17,100 (N)
Tipo de curado :	Estándar	Carga :	P_1 39,460 (N)	Resistencia residual :	f^D_{600} - (MPa)
Fecha de hechura :	2018-07-03	Primer - pico :	Resistencia : f_1 5.00 (MPa)		f^D_{150} 2.20 (MPa)
Fecha de ensayo :	2018-07-31		Deflexión : δ_1 0.06 (mm)	Relación equivalente de la resistencia de flexión :	$R^D T_{150}$ 71.5 (%)
Edad :	28 (días)		Carga : P_p 39,460 (N)		
Ancho : b	151 (mm)	Máximo - pico :	Resistencia : f_p 5.00 (MPa)	Tenacidad :	T^D_{150} 84 (J)
Espesor : d	153 (mm)		Deflexión : δ_p 0.06 (mm)		


 Edwin Barrios
 Analista de Laboratorio


 Jefe de Laboratorio / Coordinador

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, el cual está identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com.
 Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente.

Observaciones:

ROTURA SUBITA, NO SE REGISTRÓ LA DEFLEXIÓN EN EL PUNTO P^D600.

14.2.4 Resultados de resistencia al impacto en baldosa
Resistencia al impacto

	CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864100 Fax: 22864181 cetec@cempro.com		OT	32160
			FECHA	2018-07-03
			PÁGINA	1 DE 1
			FECHA IMPRESIÓN	2018-08-09
Cliente	CH-D CETEC	Proyecto	TRABAJO DE TESIS UVG	
Dirección	15 AV 18-01 ZONA 6 LP	Muestra	BALDOSA	
Contacto	ARIEL OSORIO/ESTUARDO HERRERA	Analista	WILSON AIFAN	
Teléfono	2286-4100			

INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA AL IMPACTO
 BALDOSAS DE TERRAZO PARA PISOS DE USO INTERIOR Y EXTERIOR
 NORMA COGUANOR NTG 41081 h1
RESULTADOS

No. Lab.	ID. Cliente	FECHA HECHURA	FECHA ROTURA	EDAD (días)	ALTURA MINIMA DE CAIDA (mm)	PONDERACIÓN
1	Muestra Patrón	2018-07-03	2018-08-03	31	100	SATISFACTORIO
2	4 kg/m ³ fibra polypropileno	2018-07-03	2018-08-03	31	100	SATISFACTORIO
3	5 kg/m ³ fibra polypropileno	2018-07-03	2018-08-03	31	100	SATISFACTORIO
4	6 kg/m ³ fibra polypropileno	2018-07-03	2018-08-03	31	150	SATISFACTORIO

Analista

Jefe Laboratorio / Coordinador



OBSERVACIONES: La masa utilizada para dicho ensayo es de 13.65 kg.

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo, puede comunicarse al telefono 22864178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com

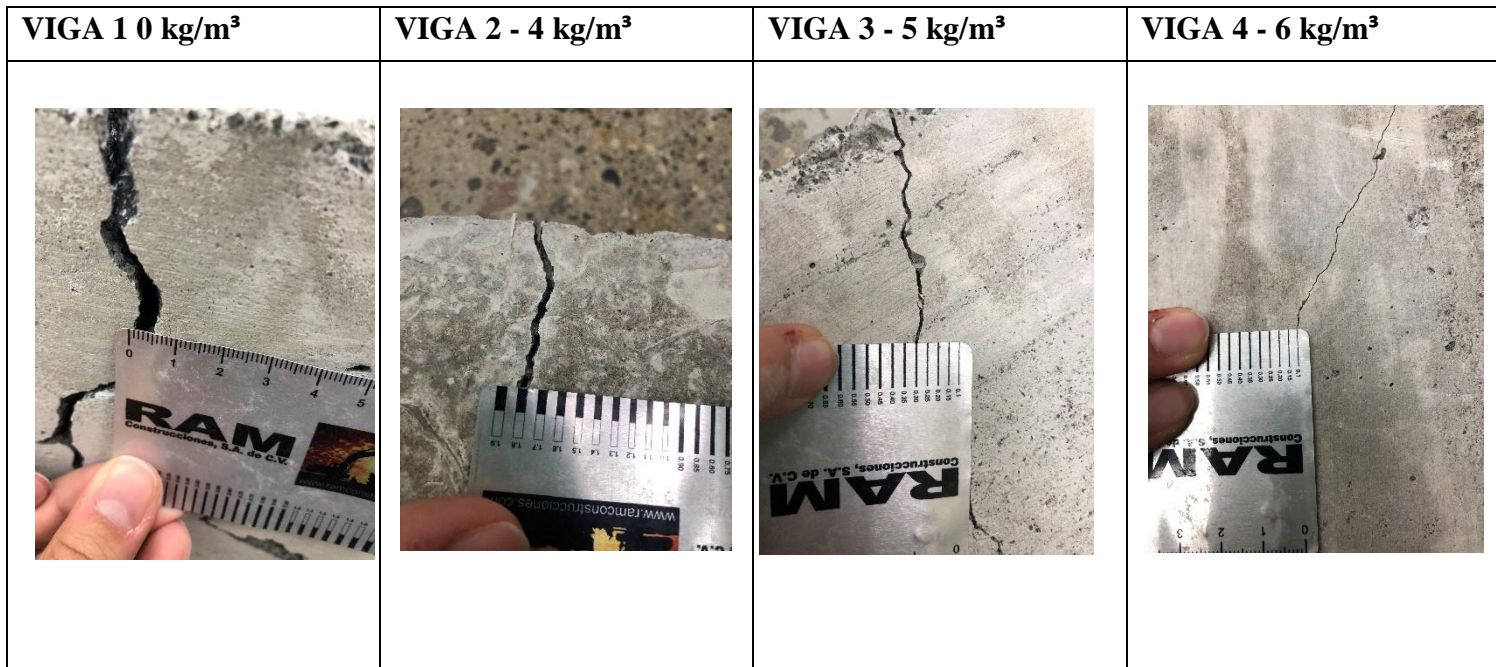
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente.

SGL-CT-CP-IE-28 / REV. 02

No. 13682 CETEC

Fotografías del ensayo de resistencia al impacto.

Fig. 51. Resistencia al impacto y tamaño de la grieta o fisura de la baldosa



Fuente: Elaboración propia

Fig. 52. Elaboración del ensayo de resistencia al impacto



Fuente: Elaboración propia

14.2.5 Resultados de la profundidad de penetración de agua bajo presión al concreto endurecido.

Resultados de penetración de agua

		CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 2286-4100 Fax: 2286-4178 cetec@cempro.com		OT: 32160 FECHA OT: 2018-07-03 PÁGINA: 1 DE 1	
Cliente:	CI-D CETEC	Telefono:	2286-4100		
Dirección:	15 AV 18-01 ZONA 6 LA PEDRERA	Analista:	WILSON AIFAN		
Contacto:	ESTUARDO HERRERA / ARIEL OSORIO	Fecha de impresión:	2018-08-09		
Proyecto:	TRABAJO DE TESIS UVG				
INFORME DE ENSAYO PROFUNDIDAD DE PENETRACION DE AGUA BAJO PRESIÓN AL CONCRETO ENDURECIDO NORMA NTG 41017 h42					

No.	ID. De muestra	Fecha de hechura	Edad en días.	Fecha de ensayo	Tipo de concreto:	Diametro (mm)	Hora inicio de ensayo	Ubicación elemento fundido	Promedio de penetración (mm)	Profundidad máxima penetración (mm)
1	Muestra Patrón	2018-07-03	31	2018-08-03	_____	152.5	10:00	_____	13	17
2	4 kg/m ³ fibra Polipropileno	2018-07-03	31	2018-08-03	_____	152.5	10:00	_____	19	24
3	5 kg/m ³ fibra Polipropileno	2018-07-03	31	2018-08-03	_____	152.5	10:00	_____	20	22
4	6 kg/m ³ fibra Polipropileno	2018-07-03	31	2018-08-03	_____	152.5	10:00	_____	13	18
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NOTA:										


 Analista de Laboratorio


 Jefe de Laboratorio / Coordinador



Observaciones:

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com

SGL-CT-CP-IE-32 Rev 0

No. 13683 CETEC

Fotografías del ensayo de la penetración de agua

Fig. 53. Ensayo de penetración de agua



Fuente: Elaboración propia